

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

OPTIMALIZACE VYTÁPĚNÍ ZŠ BUDIŠOV

OPTIMALIZATION OF HEATING SYSTEM PS BUDISOV

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. LUBOMÍR ČECH

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. JAN FIEDLER, Dr.

BRNO 2008

Abstrakt

Tématem diplomové práce je optimalizace způsobu vytápění základní školy Budišov. Cílem je navrhnout případnou změnu palivové základny a případnou úpravu stávajícího systému vytápění.

Jednotlivé navrhované změny způsobu vytápění ZŠ jsou porovnány se současným stavem, jak po stránce technické, tak i ekonomické. Je vycházeno ze spotřeby paliv na vytápění za poslední sedmileté období a známé výhřevnosti jednotlivých paliv.

Pro srovnání je důležitá především velikost zásahu do současného stavu, technické provedení a návratnost vložených investic.

Klíčová slova

Optimalizace, vytápění, zemní plyn, ekonomická analýza.

Abstract

The subject of the diploma thesis is an optimization of a heating system of a basic school Budisov, Czech Republic. The objective of the thesis is to design a change of the fuel basis of the heating system.

The designed changes of heating system are compared with the current state with respect to both, technical and economical aspects. The known values of fuel consumption in the last seven year period and the heating power of fuel are considered.

For the comparison of the complexity of the proposed change of the heating system the realization and recovery of investment are the main factors.

Keywords

Optimalization, heating system, gas, economic analysis.



Bibliografická citace

ČECH, L.: *Optimalizace vytápění ZŠ Budišov*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 60 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Jan Fiedler, Dr.



Místopřísežné prohlášení

Místopřísežně prohlašuji, že jsem byl seznámen s předpisy pro vypracování diplomové práce a že jsem tuto diplomovou práci, vypracoval samostatně a bez cizí pomoci. Vycházel jsem při tom ze svých znalostí, odborných konzultací a doporučené literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 17. října 2008

Lubomír Čech



Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval za poskytnutí cenných informací, potřebné literatury a obětavou pomoc při vypracování této diplomové práce mému vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Janu Fiedlerovi, Dr. a konzultantovi Ing. Martinu Lisému.

Zvláštní poděkování patří mé rodině a především mé přítelkyni Mgr. Lydii Špaňhelové za morální podporu a věčné připomínky k diplomové práci.

OBSAH

1. ÚVOD A CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	6
2. DRUHY PALIV A JEJICH VLASTNOSTI	7
2.1 Základní rozdělení energetických zdrojů	7
2.2 Plyná paliva	8
2.2.1 Zemní plyn	9
2.3 Kapalná paliva	10
2.4 Tuhá paliva.....	12
2.4.1 Uhlí.....	12
2.4.2 Dřevo	14
3. ZDROJE TEPLA.....	16
3.1 Zjednodušené dělení kotlů.....	16
3.2 Kotle na plyná paliva.....	16
3.2.1 Kotle na zemní plyn	16
3.3 Kotle na kapalná paliva	18
3.4 Kotle na tuhá paliva.....	19
3.4.1 Kotle na uhlí	19
3.4.2 Kotle na dřevo a biomasu	20
4. ÚSPORNÁ OPATŘENÍ.....	23
4.1 Středněnákladové opatření.....	23
4.1.1 Instalace termostatických ventilů	23
4.2 Vysokonákladová opatření	26
4.2.1 Tepelné izolace vnějších svislých konstrukcí	26
4.2.2 Výměna výplní stavebních otvorů.....	27
5. POPIS STÁVAJÍCÍHO STAVU	28
5.1 Zdroj tepla	28
5.2 Spotřeba LTO na vytápění	29
6. NÁVRH ÚSPORNÝCH VARIANT	32
6.1 Varianta č. 1.	32
6.1.1 Úspora oproti LTO	33
6.2 Varianta č. 2	35
6.3 Varianta č. 3	37
6.3.1 Úspora oproti LTO	37
6.4 Varianta č. 4	39
6.5 Varianta č. 5	39
6.6 Varianta č. 6	40
7. EKONOMICKÁ ANALÝZA VARIANT	41
7.1 Ekonomické zhodnocení varianty č. 1	41
7.2 Ekonomické zhodnocení varianty č. 3	43
7.3 Ekonomické zhodnocení varianty č. 5	45
8. NÁVRH ÚSPORNÝCH OPATŘENÍ	47
8.1 Postup a metodika výpočtu	47
8.2 Výpočet úspor a nákladů	51
8.2.1 Instalace termostatických ventilů	51
8.2.2 Tepelná izolace svislých vnějších konstrukcí	52
8.2.3 Výměna výplní stavebních otvorů.....	53
8.3 Ekonomické zhodnocení úsporných opatření.....	54
9. ZHODNOCENÍ A ZÁVĚR	56
10. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	59
11. SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	60

1. ÚVOD A CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Trendem současné doby je neustálé snižování potřeby energie pro vytápění a ohřev teplé vody ve všech oblastech její spotřeby. Je to dáno nejen rostoucí spotřebou primárních energetických zdrojů (uhlí, ropa, zemní plyn), ale především zvyšující se cenou těchto neobnovitelných zdrojů energie.

Úkolem vytápění je zajištění tepelné pohody člověka, což znamená vytvořit takový tepelný stav prostředí, ve kterém se člověk cítí příjemně (není mu ani teplo ani zima) s ohledem na jeho činnost. Každá vytápěcí soustava má do objektu dodávat právě tolik tepla, kolik v daném čase tvoří jeho tepelná ztráta.

Možností, jak dosáhnout snížení nákladů na vytápění při zachování tepelné pohody prostředí, je několik.

Jednou z nich je zlepšení tepelně technických vlastností budovy. V dnešní době jsou nejčastěji používanými způsoby zateplení fasády, střechy, podlahy a výměna výplní otvorů (dveře, okna) tak, aby byly splněny požadavky normy ČSN 73 0540-2 (novelizována v roce 2007) na požadované hodnoty součinitele prostupu tepla U_N [W/m^2K]. Zlepšením tepelně technických vlastností obálky budovy dojde ke snížení tepelných ztrát a tím k nižší potřebě tepla (velikosti zdroje tepla) na vytápění.

Jinou možností (méně finančně náročnější), jak lze dosáhnout úspor nákladů na vytápění a ohřev teplé vody, je změna zdroje tepla, druhu paliva a zvýšení účinnosti výroby tepelné energie.

Cílem mé diplomové práce je optimalizace vytápění základní školy Budišov. Tato práce mě zaujala především z jejího praktického využití.

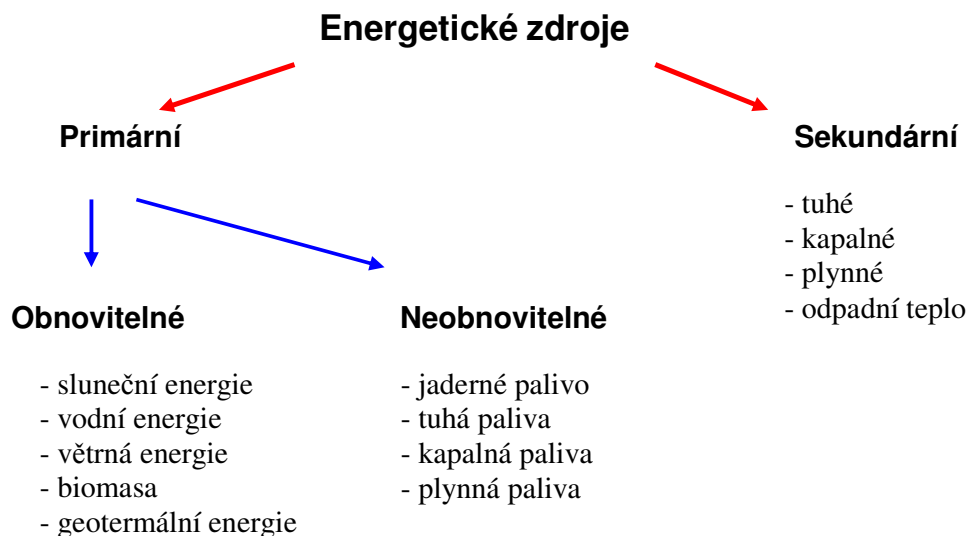
Náplní práce je provést technicko-ekonomickou optimalizaci způsobu vytápění základní školy Budišov. Optimalizace spočívá v případné změně palivové základny a v úpravě stávajícího systému vytápění.

V současnosti je vytápění ZŠ zajištěno dvěma kotli na lehký topný olej, každý o výkonu 225 kW. Pro stanovení potřeb dodávek tepla bylo vycházeno ze známe spotřeby paliv za posledních 7 let, tj. od roku 2000 do 2006. Při známé výhřevnosti použitých paliv je pak možno stanovit potřeby dodávek tepla. Sedmiletá perioda je dostatečně dlouhá, aby vypočtené hodnoty byly relevantní pro dimenzování koteln.

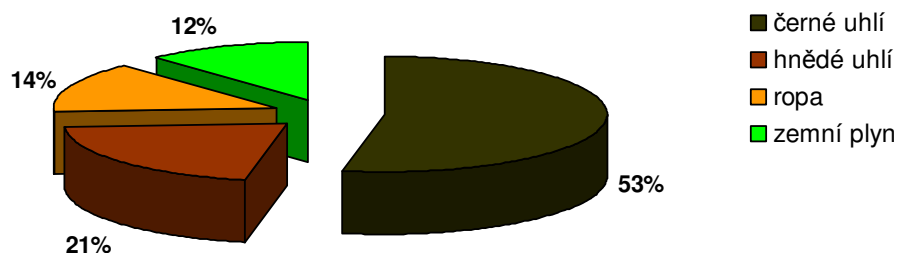
V následujících kapitolách jsou uvedeny vlastnosti jednotlivých paliv, kotlů, regulace a způsoby snížení energetické náročnosti budovy ZŠ Budišov.

2. DRUHY PALIV A JEJICH VLASTNOSTI

2.1 Základní rozdělení energetických zdrojů



Podíl jednotlivých druhů paliv na světové zásobě



Graf 1 Podíl jednotlivých druhů paliv na světové zásobě [1]

Následující podkapitoly budou členěny podle skupenství paliv. Jsou zde uvedeny především paliva nejčastěji používaná pro vytápění domácností.

2.2 Plyná paliva

Nazývané také plyny topné, které obsahují hořlavé složky např.: CO , H_2O , C_xH_x . Jsou děleny podle výhřevnosti Q_i^r do čtyř skupin [2]. Základní vlastnosti vybraných topných plynů jsou uvedeny v tab. 1.

- a) Málo výhřevné plyny** $Q_i^r < 8,35$ MJ/m^3
- plyn kychtový (vysokopecní);
 - plyn generátorový z koksu a hnědého uhlí, plyn z biomasy.
- b) Středně výhřevné** $Q_i^r = 8,35\text{--}12,5$ MJ/m^3
- plyny z nízkoteplotní karbonizace uhlí;
 - vodní plyn (z rozkladu vodní páry na žhavém koksu);
 - zemní plyn reformovaný parou;
 - propan butan reformovaný vzduchem.
- c) Velmi výhřevné** $Q_i^r = 12,5\text{--}21,5$ MJ/m^3
- svítiplyny koksárenský;
plynárenský.
- d) Velmi vysoce výhřevné** $Q_i^r > 21,5$ MJ/m^3
- zemní plyny naftové (z nalezišť ropy);
karbonské (z nalezišť uhlí);
 - olejový plyn;
 - propan butan.

Porovnání vlastností topných plynů				
Parametr	Jednotka	Zemní plyn	Propan	Butan
Spalné teplo plynu	$[\text{MJ/m}^3]$	37,69	95,50	125,72
Výhřevnost plynu	$[\text{MJ/m}^3]$	33,93	87,86	116,02
Měrná hmotnost plynu	$[\text{kg/m}^3]$	0,68	2,00	2,54
Měrná hmotnost kapaliny	$[\text{kg/m}^3]$	422,62	582,00	601,40
Molární hmotnost	$[\text{g/mol}]$	16,04	44,10	58,12
Množství spalovacího vzduchu	$[\text{m}^3/\text{m}^3]$	9,56	24,30	32,09
Maximální spalovací rychlost	$[\text{m/s}]$	0,40	0,51	0,37
Teplota plamene	$[\text{°C}]$	1 957	1 980	1 970
Meze výbušnosti	$[\text{\% objemu}]$	4,4–17,0	1,7–10,9	1,4–9,3

Tab. 1 Porovnání vlastností vybraných topných plynů [9]

2.2.1 Zemní plyn

Zemní plyn je velmi vysoce výhřevný přírodní plyn složený z plyných uhlovodíků a nehořlavých složek (zejména dusíku a oxidu uhličitého). Složení zemního plynu podle místa původu je uvedeno v tab. 2. Jeho charakteristickým znakem je vysoký obsah metanu. Zemní plyn neobsahuje jedovaté složky a je přibližně dvakrát lehčí než vzduch. Těží se ze země nebo z mořského dna, obvykle z mnohasetmetrových hloubek. Před dodáním do rozvodného systému je třeba ho upravit (sušit, zbavovat mechanických nečistot a nežádoucích příměsí apod.).

Nejvíce používaným způsobem dopravy zemního plynu je přeprava potrubím - Evropa je dnes protkána hustou sítí dálkových plynovodů. Provozní tlaky v nejnovějších potrubních systémech dosahují až 10 MPa a průměry plynovodů často přesahují jeden metr (např. v ČR je téměř 400 km o průměru 1400 mm). Plynovody jsou vedeny nejen po souši, ale mohou být také položeny na mořském dně [21].

Další možností je přeprava tankery – je využívána pro přepravu přes moře na velké vzdálenosti – např. do Evropy je takto dodáván stlačený zemní plyn (CNG, PNG) a zkapalněný zemní plyn (LNG) z Alžírsko, Nigérie nebo Austrálie. Zemní plyn se na pobřeží stlačí nebo zkapalní (zkapalněním zmenší zemní plyn svůj objem cca 600x) a přečerpá do tankeru. V cílovém terminálu se přečerpá do zásobníků, postupně se odpařuje a dodává do plynovodních systémů.

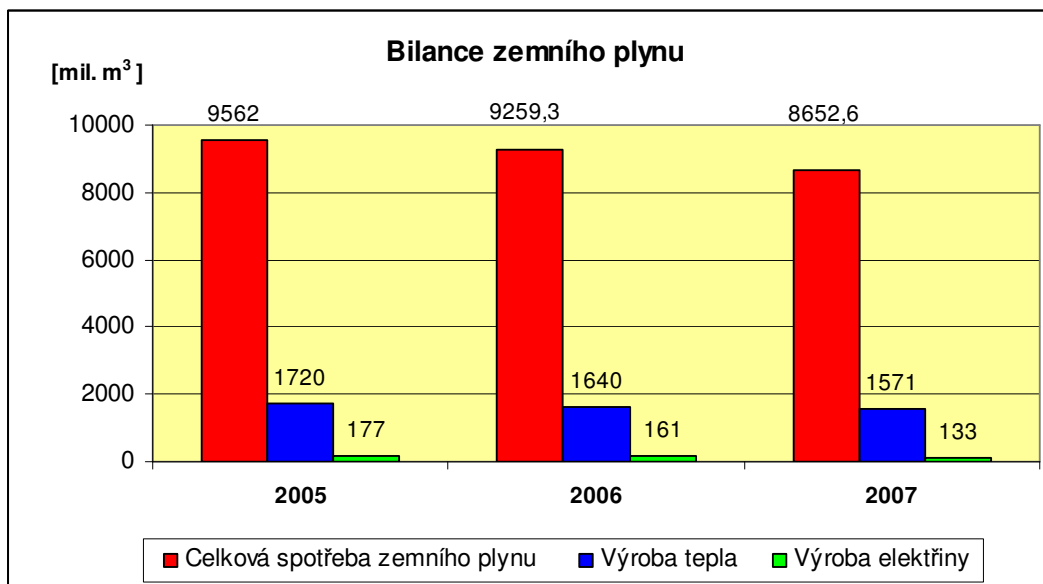
Složky zemního plynu	Objemový podíl složky v zemním plynu [%]				
	Tranzitní ZP	Norský ZP	Alžírský ZP (Hassi R Mel)	Jihomoravský ZP	Holandský ZP (Groningen)
Metan CH ₄	98,39	85,80	86,90	97,70	81,31
Etan C ₂ H ₆	0,44	8,49	9,00	1,20	2,85
Propan C ₃ H ₈	0,16	2,30	2,60	0,50	0,37
Butan C ₄ H ₁₀	0,07	0,70	1,20	-	0,14
Pentan C ₅ H ₁₂	0,03	0,25	-	-	0,09
Dusík N ₂	0,84	0,96	0,30	0,60	14,35
Oxid uhličitý CO ₂	0,07	1,50	-	-	0,89

Tab. 2 Složení zemního plynu podle místa původu [9]

Zemní plyn je palivo velmi komfortní a poměrně ekologické (emise oxidů síry a prachu jsou téměř nulové), které lze využívat s vysokou účinností. Dodávka plynu je spolehlivá a nejsou potřeba žádné skladovací prostory. Spotřebu zemního plynu v ČR za vybraný časový úsek zobrazuje graf 2.

V dnešní době se spotřeba zemního plynu účtuje v kWh, nikoli v m³ jako dříve. Plynoměry však stále měří v m³. Dodavatel plynu přepočítává objem na kilowatthodiny podle průměru spalného tepla. Spalné teplo je vyšší než výhřevnost. Obě veličiny (spalné teplo i výhřevnost) udávají, kolik se v plynu (ale i v jakémkoli jiném palivu) skrývá energie. Spálením plynu, vznikne CO₂, vodní pára a malé množství jiných zplodin (oxidy dusíku aj.). Pokud však jsou spaliny ochlazené, pára zkondenzuje a získáme teplo, které bylo potřeba na přeměnu vody na páru. Toto teplo právě tvoří rozdíl mezi výhřevností (která ho neuvažuje) a spalným teplem (která ho uvažuje).

Kondenzace spalin je většinou nežádoucí, protože působí tzv. nízkoteplotní korozi ocelových kotlů.



Graf 2 Bilance zemního plynu [10]

2.3 Kapalná paliva

Vesměs se jedná o paliva na bázi ropy. Ropa je kapalina tvořená směsí plyných, těkavých a rozpuštěných tuhých uhlovodíků s příměsí neuhlovodíkových organických sloučenin a písku. Podle měrné hmotnosti (hustoty) je ropa dělena na velmi lehké ropy (pod $0,85 \text{ g/cm}^3$), lehké ropy (okolo $0,88 \text{ g/cm}^3$) a těžké ropy (nad $0,9 \text{ g/cm}^3$). Podle obsahu základních typů uhlovodíků se rozlišuje ropa alkalická neboli parafinická, ropa naftenická a vzácná ropa aromatická.

Téměř celá produkce surové ropy je zpracovávána v rafineriích a v chemickém průmyslu. Destilací se z ní získává lehký a těžký benzín, nafta, olej a zbylý mazut se dále zpracovává na několik frakcí oleje. Krakováním (rozkladem uhlovodíků s delšími řetězci na jednodušší sloučeniny) a modifikací struktury sloučenin (tzv. reforming) se získávají benzíny a oleje používané jako paliva. Z produktů vyrobených z ropy se mimo jiné vyrábí umělá vlákna, umělé kaučuky, plastické hmoty, barvy, laky, léčiva a výbušniny.

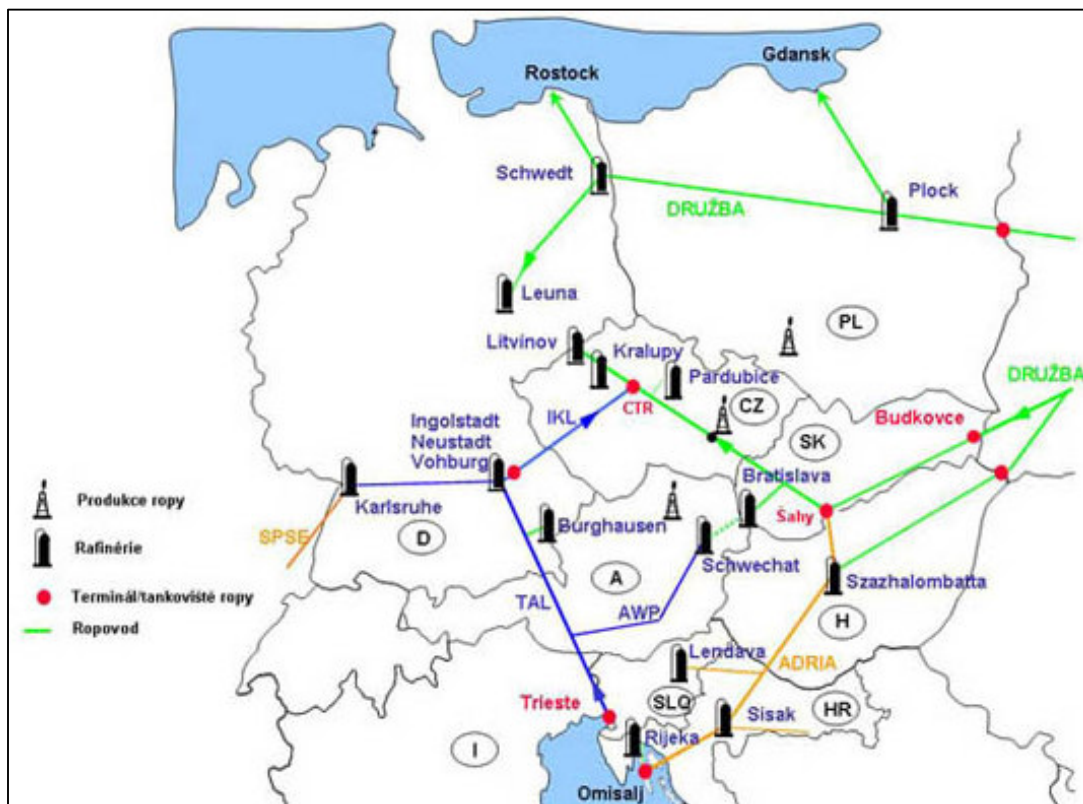
Ložiska ropy se vyskytují na všech kontinentech a na jejich šelfech (okolo 25–30 % známých zásob). Přibližně 62 % světových zásob připadá na země Perského zálivu (Saudská Arábie – 22 % světových zásob, Kuvajt, Irák, Irán, Spojené Arabské Emiráty mezi 8 až 11 %), 12 % na Evropu a Eurasii, 9 % na Afriku, 9 % na Střední a Jižní Ameriku, 5 % na Severní Ameriku a 3 % na Asii (bez Ruska) a Tichomoří [11].

Ropa je dopravována téměř výhradně ropovody (viz obr. 1). Ropovody jsou systémy na potrubní přepravu ropy. A to buď přímo z nalezišť ropy, nebo z přístavů do oblastí spotřeby. Česká republika je zásobována ropovodem Družba a IKL (Ingolstadt – Kralupy – Litvínov).

Česká část ropovodu Družba je dlouhá 357 km, včetně zdvojení a odboček 504 km. Převážná kapacita je 9 mil. tun ropy ročně, průměr potrubí 528 mm. Ropa v tomto potrubí proudí rychlostí kolem 1,4 m/s, průměrná hloubka uložení potrubí v zemi je 1,3 metru.

Ropovod IKL je celkově 350 km dlouhý, o průměru potrubí 711 mm s přepravní kapacitou 10 mil. tun/rok (s možností rozšíření přepravní kapacity na 15 mil. tun/rok), v současné době je ropovodem IKL dopravována cca 1/3 z celkového množství ropy do ČR.

Obě trasy končí na českém území v Centrálním tankovišti v Nelahozevsi. Odtud je ropa distribuována do jednotlivých rafinérií.



Obr. 1 Mapa ropovodů [11]

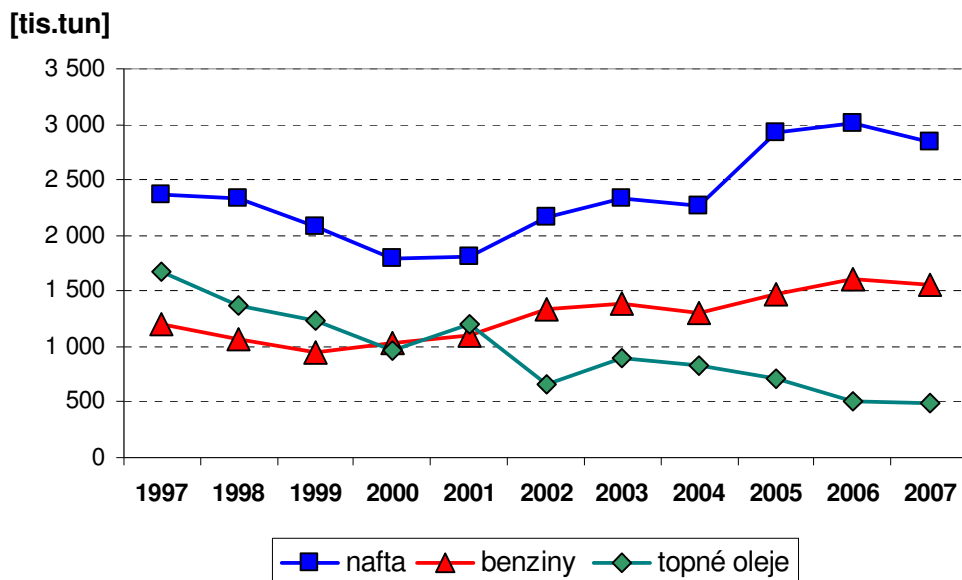
Mezi produkty ropných rafinérií, které se používají pro vytápění patří především topné oleje. Lze je rozdělit na extralehké a těžké.

Topný olej extralehký (TOEL, ETO), dříve nazývaný také topná nafta, je středněvroucí směs uhlovodíků vroucí převážně v rozmezí 150 až 370 °C získávaná z ropy mísením z primárních i sekundárních odsířených ropných frakcí. TOEL je vzhledem ke svému nízkému obsahu síry určen pro použití jako topné médium ve zvláště ekologicky zatížených a chráněných krajinných oblastech a pro vytápění domácností.

Těžké topné oleje zpočátku představovaly atmosférický destilační zbytek (mazut) vroucí zhruba nad 350 °C. Obsah síry v tomto produktu byl plně závislý na druhu zpracovávané ropy. Těžký topný olej se používá v širokém spektru průmyslových odvětví. Oblasti použití závisejí na technických a ekonomických aspektech a provozně-technickém vybavení spotřebitele.

Vývoj výroby kapalných paliv a topných olejů ukazuje graf 3.

Vývoj výroby kapalných paliv v letech 1997 - 2007



Graf 3 Vývoj výroby kapalných paliv v ČR [10]

2.4 Tuhá paliva

2.4.1 Uhlí

Uhlí patří mezi fosilní paliva. Vznikalo v močálových oblastech po několik milionů let. V močálech se bez přístupu vzduchu a za působení vysokých tlaků a teplot rozkládala organická hmota. Proces zuhelnatění probíhal několik milionů let. Nejprve došlo ke zrašelinění materiálu a postupem času pak díky tlakům a nepřístupu vzduchu k jeho postupnému zuhelnatění.

V závislosti na geologických podmínkách a času vznikalo uhlí různé kvality. Uhlí obecně obsahuje směs zpevněného různě zoxidovaného a rozloženého organického materiálu a minerálních látek jako je křemen, jíly, karbonáty a zejména pyrit. Základem uhlí je rostlinný materiál, který tvoří minimálně 70 % složení. Čím je uhlí kvalitnější, tím více obsahuje uhlíku a méně ostatních prvků – dusík, kyslík, vodík, případně síru. Nejvíce těchto ostatních prvků obsahuje lignit.

Podle doby stáří se uhlí dělí na:

- rašelinu;
- lignit;
- hnědé uhlí;
- černé uhlí;
- antracit.

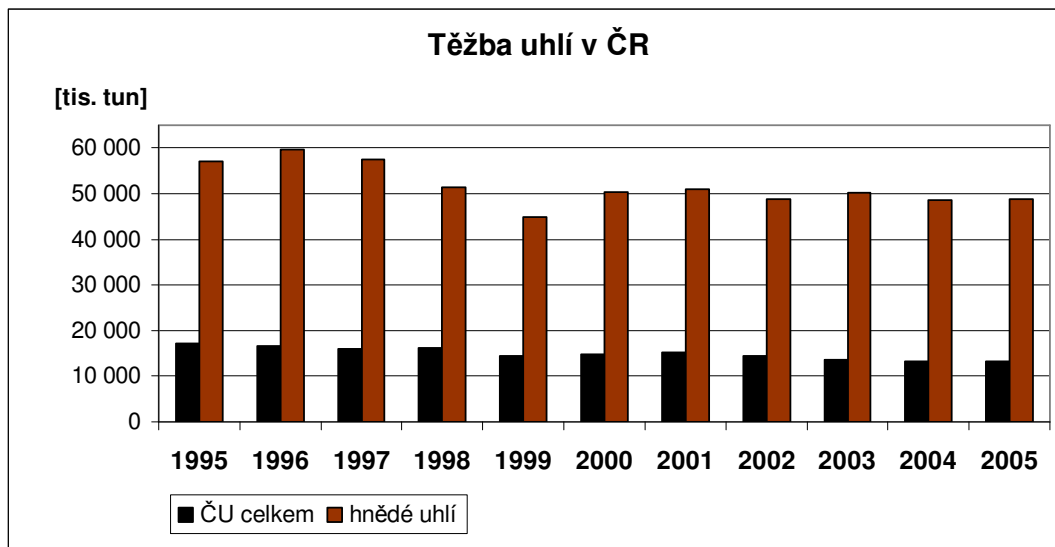
Z ekologického a ekonomického hlediska se posuzuje výhřevnost uhlí, obsah vody, síry a popela. Logicky čím větší má uhlí výhřevnost, čím obsahuje méně vody, síry a popela, tím je lepší. Nejméně kvalitní uhlí hodně kouří a dává méně tepla. Pro srovnání, nejkvalitnější

hnědé uhlí má výhřevnost 19 MJ/kg, černé má výhřevnost 18–30 MJ/kg. Nejvyšší uhlí se ale hůře zapaluje. Vybrané vlastnosti uhlí ukazuje tab. 3.

Druhy uhlí a jejich vlastnosti						
PALIVO	VÝHŘEVNOST [MJ/kg]	Prvky hořlaviny (%)				
		C	H ₂	S	O ₂	N ₂
Antracit	33	90–93	1–4	0,5–2	2–4	1–1,2
Černé uhlí	18–30	72–92	4–6,3	2–16	0,5–7	1–1,8
Hnědé uhlí	8–19	64–77	4–7,8	0,5–7,5	14–27	0,6–1,3
Lignit	6–8	61–69	5–5,8	1,5–8	22–28	0,7–1,3
Rašelina	5–8	54–61	5,5–6	0,3–0,5	33–34	2,2–2,5

Tab. 3 Výhřevnost a podíl hořlavých složek uhlí [2]

V zásobách uhlí je Česká republika celkem soběstačná. Naše hlavní oblasti těžby uhlí leží na Ostravsku (Ostravsko-karvinská pánev, tj. jižní část Hornoslezské pánve, zasahující k nám z Polska) a v Podkrušnohoří. V hlubinných dolech Ostravska se těží koksovateľné černé uhlí, v převážně povrchových dolech Podkrušnohoří se těží hnědé uhlí různé kvality; uhlí z Mostecké pánve je nejlepší, uhlí z jihozápadněji položených pánví podkrušnohorského zlomu je většinou horší kvality. Přehled těžby v ČR za období let 1995–2005 zobrazuje graf 4. Hodnoty černého uhlí obsahují těžbu pro účely energetické a pro koksování. U hnědého uhlí je zahrnuta těžba včetně lignitu.



Graf 4 Balance těžby uhlí v ČR [10]

Uhlí se používá v různých velikostech, v ČR se nejvíce spotřebuje hnědého uhlí na výrobu elektřiny a tepla. Podle velikosti zrnění se uhlí dělí na:

název	velikost
▪ letek	0–0,3 mm;
▪ prach	0–6 mm;
▪ hrubý prach	0–10 mm;
▪ hrášek	10–18 mm;
▪ ořech 1	18–30 mm;
▪ ořech 2	30–50 mm;
▪ kostka	50–80 mm.

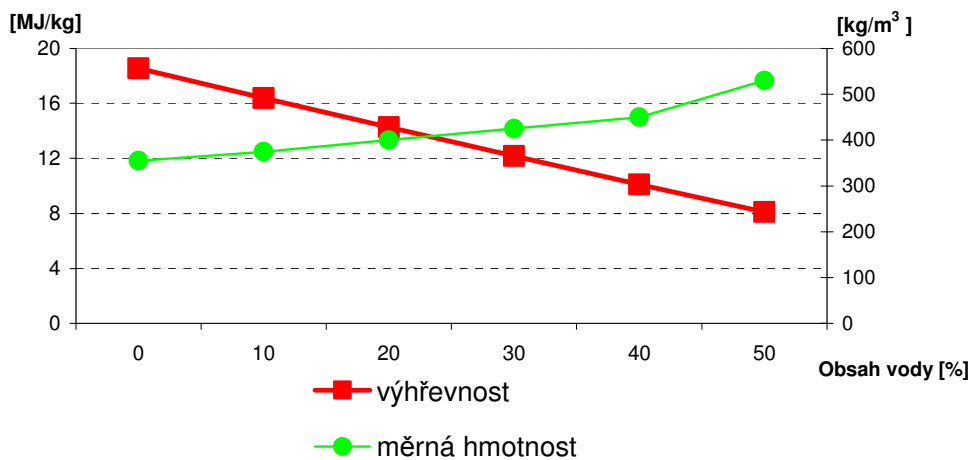
Pro domácí použití se používá ořech 2 a kostka, pro účely průmyslu to je hrášek a ořech 1. Uhlí jako fosilní a neobnovitelný energetický zdroj je od 1. 1. 2008 zatíženo tzv. ekologickou daní. Ta se vztahuje na pevná paliva, zemní plyn a elektřinu. Sazba daně pro hnědé i černé uhlí, brikety, koks, polokoks činí 8,50,– Kč na GJ spalného tepla.

Elektřina podle zákona podléhá ekologické dani ve výši 28,30,– Kč/MWh. Osvobozena od daně je elektřina "ekologicky šetrná". To je podle zákona elektřina pocházející z energie sluneční, větrné, geotermální nebo vodní, vyrobená z biomasy nebo produktů z biomasy, vyrobená z důlního plynu či z palivových článků. Od daně je rovněž osvobozena elektřina sloužící ke hromadné dopravě, tzn. pro pohon lokomotiv, tramvají a trolejbusů. Dále je od daně mj. osvobozená elektřina vyrobená ve zdrojích s výkonem nižším než 2 MW, pokud je přímo spotřebována nebo dodávána do sítě vlastním vedením.

2.4.2 Dřevo

Dřevo je v podstatě technický výraz pro sekundární xylém stonků a kořenů rostlin, produkovaný více let. Odtud jsou tyto rostliny označovány jako dřeviny. Dřevo je produkováno speciálním dělivým pletivem – kambiem. Protože v našich klimatických podmínkách pracuje kambium periodicky, jsou v dřevu na příčném řezu letokruhy (na jaře přirůstá dřevo rychleji než v létě).

Vliv vlhkosti dřeva na výhřevnost a měrnou hmotnost



Graf 5 Vliv vlhkosti na výhřevnost a měrnou hmotnost měkkého dřeva [9]

Dřevo je zahrnováno mezi obnovitelné zdroje energie [6], jako jeden z druhů biomasy. Je to snadno dostupný přírodní materiál, který lidé široce využívají po celou dobu své historie. Mezi evropskými státy zaujímá Česká republika 12. místo v lesnatosti (33,5 %), v zásobě dřeva na 1 hektar je na 4. místě (245,8 m³/ha) a v ročním přírůstku na 1 ha je na 6. místě (7,8 m³/ha).

Dřevo (polenové, ale hlavně různé krajiny a odřezky) u nás stále patří k nejlevnějším palivům. O briketách a peletkách z pilin to už neplatí. Pro větší zdroje (např. blokové kotelny bytových domů) se využívá i štěpka, sláma nebo jiná spalitelná paliva, její cena je však individuální.

Platí, že dřevo by se mělo spalovat ve speciálních kotlích, topení dřevem v kotlích na uhlí je málo účinné. Protože dřevo hoří dlouhým plamenem (na rozdíl od uhlí), velká část energie vyletí nevyužita komínem.

Různé druhy dřeva mají přibližně stejnou výhřevnost (viz tab. 4). Tvrdé dřevo je však hustější než měkké, ve stejném polenu je více kilogramů a tedy i energie. Závislost obsahu vody na výhřevnosti a měrné hmotnosti měkkého dřeva ukazuje graf 5.

Výhřevnosti a měrné jednotky palivového dřeva						
Druh paliva	Objemová hmotnost sušiny [kg/m ³]	Objemová hmotnost při vlhkosti 25%		Výhřevnost při vlhkosti 25%		
		[kg/pm]	[kg/rm]	[MJ/kg]	[MJ/pm]	[MJ/rm]
Smrk	430	575	415	13	7 350	5 440
Jedle	430	575	415	14	8 040	5 800
Borovice	510	680	495	14	9 250	6 730
Modřín	545	725	525	13	9 720	7 040
Topol	400	530	360	12	6 540	4 440
Olše	480	640	430	13	8 260	5 550
Vrba	500	665	450	13	8 490	5 740
Bříza	585	780	525	14	10 550	7 100
Jasan	650	865	585	13	11 010	7 450
Buk	650	865	585	13	10 830	7 320
Dub	630	840	565	13	11 050	7 430
Habr	680	905	610	12	10 970	7 400
Akát	700	930	630	13	11 850	8 030

Tab. 4 Vlastnosti jednotlivých druhů dřeva [9]

Pozn.: pm = 1 m³ plné dřevní hmoty (plnometr, pevný metr);
rm = 1 m³ rovnaných polen, obsahuje 60–75% dřeva (prostorový metr).

3. ZDROJE TEPLA

3.1 Zjednodušené dělení kotlů

Podle druhu paliva [3]:

- kotle na plynná paliva (zemní plyn, propan-butan);
- kotle na kapalná paliva (topné oleje);
- kotle na tuhá paliva (černé uhlí, hnědé uhlí, koks, dřevo a dřevní hmoty, biomasa);
- elektrokotle.

Podle teplonosné látky:

- vodní (teplovodní do 110 °C, horkovodní nad 110 °C);
- parní.

Podle použitého materiálu:

- ocelové;
- litinové článkové;
- jiné, kombinace materiálů, speciální materiály.

Podle způsobu umístění a upevnění:

- stacionární (na podlaze či soklíku);
- závěsné.

Podle způsobu odvodu spalin:

- do komína, kouřovodu s funkcí komína;
- na venkovní fasádu nebo střechu v provedení turbo.

Podle počtu výkonových stupňů hořáku:

- jednostupňové;
- dvoustupňové (dva výkonové stupně, nejčastěji 50 % a 100 % výkonu);
- spojitě (mezi 20 % až 50 % pevný výkonový stupeň, pak do 100 % spojitě).

3.2 Kotle na plynná paliva

3.2.1 Kotle na zemní plyn

Plynový kotel je zpravidla monoblok, který se skládá ze spalovací komory, teplosměnné plochy, hořáku, odvodu spalin a bezpečnostního zařízení. Podle typu hořáků se plynové kotle dělí na:

- kotle s atmosférickými hořáky (vsazenými do spalovací komory, kotle jsou vybaveny přerušovačem tahu nebo spalínovým ventilátorem);
- kotle s tlakovými hořáky (obvykle tvořené vícetahovou spalovací komorou s přímým odvodem spalin do kouřovodu).

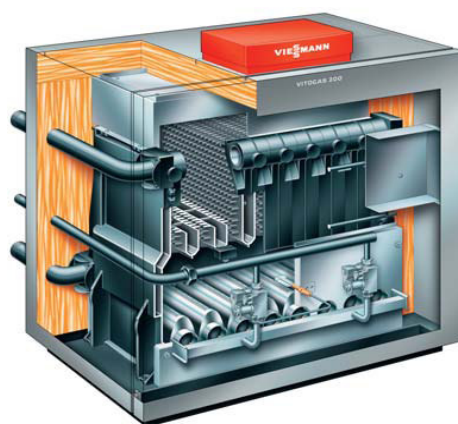
Stacionární kotle

Tyto kotle se vyznačují většími rozměry a vahou [5]. Těleso kotle je obvykle z litiny, takže kotel má dlouhou životnost (až 50 let). Účinnost kotlů se pohybuje v rozmezí 80 až 95 %. Kotel lze snadno přebudovat na jiné palivo – LTO, TTO, propan. Nevýhodou je vyšší cena, přibližně dvojnásobná ve srovnání s kotli závěsnými.

Stacionární plynové kotle se vyrábějí v různých výkonových řadách od desítek kW do stovek kW. Kotle mohou být provedeny jako klasické nebo kondenzační.

Klasické kotle je potřeba pro zajištění jejich životnosti chránit proti nízkoteplotní korozi. Je nutno zabránit kondenzaci vlhkosti z vodní páry obsažené ve spalínách na teplosměnné ploše v kotli. K té dochází, když teplota této plochy klesne pod rosný bod spalin. Klasické kotle nejsou vhodné pro nízkoteplotní systémy (otopné systémy s nižší teplotou topné vody u otopných těles nebo s podlahovým či stěnovým vytápěním). Dosahují účinnosti do 95 %. Teplota spalin se pohybuje mezi 120 až 180 °C.

Kondenzační plynové kotle využívají takzvaného kondenzačního tepla. Při spalování zemního plynu vzniká hořením vodíku určité množství vody. Hořením dochází k jejímu ohřevu a v podobě vodní páry spolu s oxidem uhličitým tvoří spaliny a odchází. Pokud jsou spaliny ochlazené pod teplotu rosného bodu, dojde ke kondenzaci a k uvolnění kondenzačního tepla. Tímto způsobem lze teoreticky získat až 11 % účinnosti. Při výpočtu účinnosti z výhřevnosti paliva lze dojít k číslům nad 100 %. Fyzikálně správný výpočet ze spalného tepla stanovuje účinnost kondenzačního kotle na maximálně 97,4 %.



Obr. 2 Řez plynovým kotlem [12]

Teplota spalin kondenzačních kotlů je od cca 40 do 90 °C. Každý kondenzační kotel vyžaduje trvalý odvod kondenzátu. Pořizovací náklady kondenzačního kotle jsou vyšší než kotle nízkoteplotního. Jeho cenu zvyšuje materiál výměníku, který musí být odolný proti nízkoteplotní korozi.



Obr. 3 Příklad řešení kaskádové kotelny [13]

Závěsné kotle

Někdy se označují jako nástěnné. Tyto kotle jsou většinou menších rozměrů a výkonů určené především pro vytápění a ohřev teplé vody u rodinných domů. Výkon se pohybuje v desítkách kW. Jsou-li v provedení turbo, nepotřebují ani komín – odvod spalín a přívod vzduchu je skrze zeď či střechu. Účinnost je 80 až 95 %.

Větších výkonů lze dosáhnout řazením kotlů menších výkonů za sebou do takzvaných kaskád. Tímto způsobem lze dosáhnout výkonu až do 1 MW. Výhodou tohoto zapojení je možnost regulovat velikost výkonu od 35 % nominálního výkonu nejmenšího použitého kotle. V praxi je prokázáno, že v topné sezóně je v 80% času kapacita kotle využívána jen na 50%. V průběhu celé sezóny je tedy kotel využit v průměru jen na 30%. To znamená jen malé využití a neefektivní provoz. Kaskádový systém poskytuje, jak je zřejmé, okamžitou potřebnou kapacitu postupným přiřazováním více „malých“ kotlů, proti jednomu velkému kotli s neefektivním provozem při malých výkonech [13]. Pomocí kaskádové regulace s programovým řízením se odstraní nepříjemné problémy se stanovením optimálního poměru kapacity systému a spotřeby tepla [8].

Závěsné kotle mohou být rovněž klasické a kondenzační.

3.3 Kotle na kapalná paliva

Konstrukčně jsou podobné jako kotle plynové. V mnoha případech jsou řešeny jak pro provoz na topné oleje tak i na zemní plyn. K přechodu na jiné palivo je potřeba pouze vyměnit olejový hořák za plynový a naopak.

Nejčastějším palivem využívaných pro kotle menších a středních výkonů patří extra lehký topný olej a lehký topný olej. Výhody provozu jsou obdobné jako u plynových kotlů. Patří zde snadná regulace a relativně čistý provoz. Nevýhodou oproti plynovým je nutnost skladu paliva (tj. zásobníkových nádrží na LTO) [8].

V současné době dochází ke snižování výroby topných olejů což má za následek postupnou výměnu těchto kotlů za ekologičtější plynové. Kapalná paliva stejně jako pevná jsou zatížena tzv. ekologickou daní. I to je jeden z důvodů snižujícího zájmu o tyto kotle.



Obr. 4 Kotel na topný olej i zemní plyn [14]

3.4 Kotle na tuhá paliva

3.4.1 Kotle na uhlí

Podle způsobu dodávání paliva se kotle dělí na kotle s ruční dodávkou, kdy je palivo dodáváno ručně v intervalech závislých na rychlosti hoření nebo tepelném výkonu, a na kotle se samočinnou dodávkou, kdy je palivo dodáváno samočinně, průběžně nebo periodicky, v závislosti na tepelném výkonu (tzv. automatické kotle).

Následuje přehled současné nabídky teplovodních kotlů na pevná paliva, nejběžnější jsou následující typy [8].

Litinové kotle

Patří mezi nejlevnější a nejrozšířenější. Převážně se jedná o kotle s ruční dodávkou paliva s prohořivacím způsobem spalování. Spaliny procházejí celou vrstvou paliva a to postupně v násypce prohořívá celé. Výkon se dá regulovat prakticky pouze výškou, tj. množstvím paliva v násypce a regulací sání spalovacího vzduchu. Vzhledem k velkému množství žhavého paliva je však možnost regulace značně omezena. Tyto kotle byly původně konstruovány pro spalování koksu a vhodné jsou pouze pro paliva s nízkým obsahem prchavých látek, jako je koks, černé uhlí, respektive velké kusové dřevo, které uvolňuje prchavé látky postupně a dlouho nahořívá. V žádném případě nejsou vhodné pro spalování hnědého uhlí. Toto palivo rychle nahořívá v celé vrstvě, rychle uvolňuje prchavé látky, které nestačí v kotli vyhořet. Vedle účinnosti na hranici 50 % se to projevuje především velice tmavým kouřem, který vychází po značnou část topení z komína. Nízká cena je vykoupena nízkou účinností, která se reálně pohybuje na hranici 65 % u koksu a 60 % u černého uhlí.



Obr. 5 Černé uhlí [15]

Ocelové kotle s ruční dodávkou paliva

Jsou převážně kotle odhořivací s posuvným roštem. Palivo odhořívá ve spodní části násypky a spaliny jsou odváděny do výměníku mimo vrstvu paliva násypce, což umožňuje spalování hnědého uhlí a drobnějšího kusového dřeva a dřevního odpadu a briket. Vzhledem k tomu, že nenahořívá celá vrstva paliva v násypce, lze tyto kotle snáze řídit regulací tahu přísáváním primárního a sekundárního vzduchu. Vzhledem k větší tlakové ztrátě na straně spalín vyžadují komín s tahem větším než 25 Pa. Tyto kotle také nevyžadují odtahový ventilátor a patří také do kategorie nejlevnějších kotlů s nároky na poměrně častou obsluhu. Reálná účinnost kotlů se pohybuje na hranici 65 %.

Ocelové kotle speciální

Tzv. zplynovací, jsou kotle odhořivací převážně s odtahovým ventilátorem s poměrně vysokou účinností spalování. Konstruovány jsou především na kusové dřevo a brikety o vlhkosti do 20 %, existují však také kotle pro kombinované spalování uhlí (kostka) a dřeva. Jejich cena je o 1/3 vyšší než u obyčejných kotlů a jejich reálná účinnost se pohybuje na hranici 75 %.

Automatické kotle

Jsou kotle se samočinnou dodávkou paliva, převážně ocelové s nuceným i přirozeným odtahem spalin. Určeny jsou především pro paliva o velikosti do 3 cm, tedy uhlí zrnitosti ořech 2 a 3 a pelet. Převládají dva základní druhy těchto kotlů. Tzv. bubnové, u kterých bubnový rošt průběžně odebírá palivo z násypky a které jsou vybaveny velkými odtahovými ventilátory. Je proto nutné počítat se speciálním komínem, který je vyvložkován jako přetlakový, který ovšem v případě špatné konstrukce může přenášet vibrace do celé budovy.



Obr. 6 Kotel na uhlí se zásobníkem [16]

3.4.2 Kotle na dřevo a biomasu

Obdobně jako u kotlů na fosilní pevná paliva, i pro biomasu zavádí základní kategorizaci teplovodních kotlů dle druhů paliva a způsobů jeho dodávky do kotle, dle způsobu napojení na těleso komínu a dle možnosti regulace jeho výkonu ČSN EN 303-5 Kotle pro ústřední vytápění na pevná paliva, s ruční nebo samočinnou dodávkou, o jmenovitém tepelném výkonu nejvýše 300 kW.

Následuje shrnutí současné nabídky teplovodních kotlů na pevná biopaliva, pak nejběžnější jsou následující typy[8].

Litinové kotle

Jsou vhodným řešením pro spalování vlhkého tvrdého kusového dřeva, kdy je $w < 30 \%$. Vzhledem k prohřívacímu způsobu spalování nejsou v žádném případě vhodné pro spalování drobného dřeva a dřevního odpadu. Tato paliva rychle nahořívají v celé vrstvě, rychle uvolňují prchavé látky, které nestačí v kotli vyhořet. Vedle účinnosti na hranici 50 % se to pak projevuje především velice tmavým kouřem, který vychází po značnou část topení z komína. Výkon se dá regulovat prakticky pouze množstvím paliva v násypce a regulací tahu pomocí klapky na sání spalovacího vzduchu. Vzhledem k velkému množství žhavého paliva je možnost regulace značně omezena. Díky nízké tlakové ztrátě na

straně spalin jsou vhodné pro komín s malým tahem do 15 Pa. Při volbě komína je nutné počítat s tím, že se teplota spalin může při spalování suchého dřeva dlouhodobě pohybovat v oblasti 300 až 400 °C. Nízká cena je vykoupena nízkou účinností, která se reálně pohybuje u dřeva na hranici 60 %. Relativně malý objem násypky znamená zvýšené nároky na obsluhu, zvláště při ukládání paliva.



Obr. 7 Palivové dřevo [17]

Ocelové kotle s ruční dodávkou paliva

Jsou vhodné pro drobnější dřevo a dřevní odpad. Převážně se jedná o kotle odhořivací s pohyblivým roštem. Vzhledem k tomu, že nenahořívá celá vrstva paliva v násypce, lze tyto kotle snáze řídit regulací přísávání primárního a sekundárního vzduchu, vyžadují však komín s větším tahem nad 25 Pa. Malý objem násypky paliva znamená opět zvýšené nároky na obsluhu, tj. na ukládání, roštování. Reálná účinnost kotlů se pohybuje na hranici 65 %.

Ocelové kotle speciální

Tzv. zplyňovací, představují moderní technologii spalování kusového dřeva. Jsou to kotle odhořivací převážně s odtahovým ventilátorem a s poměrně vysokou účinností spalování, která se reálně pohybuje na hranici 75 %. Konstruovány jsou především na kusové dřevo o vlhkosti do 20 %, drobný dřevní odpad a dřevní brikety. Výkon kotlů se dá relativně dobře regulovat v rozsahu 50–100 % jmenovitého výkonu díky regulaci dodávky spalovacího vzduchu ventilátorem. Mají ve většině případů až dvojnásobný objem násypné šachty oproti běžným kotlům. To spolu s vyšší účinností znamená podstatné snížení četnosti obsluhy 4 až 5 x denně. I když vyžadují suché palivo, pro zvýšení jejich životnosti nad 5 let je prakticky nezbytné vedle udržování teploty vratné vody nad 60 °C také zapojení s akumulací nádrží. Jejich cena je o 1/3 vyšší než u obyčejných.

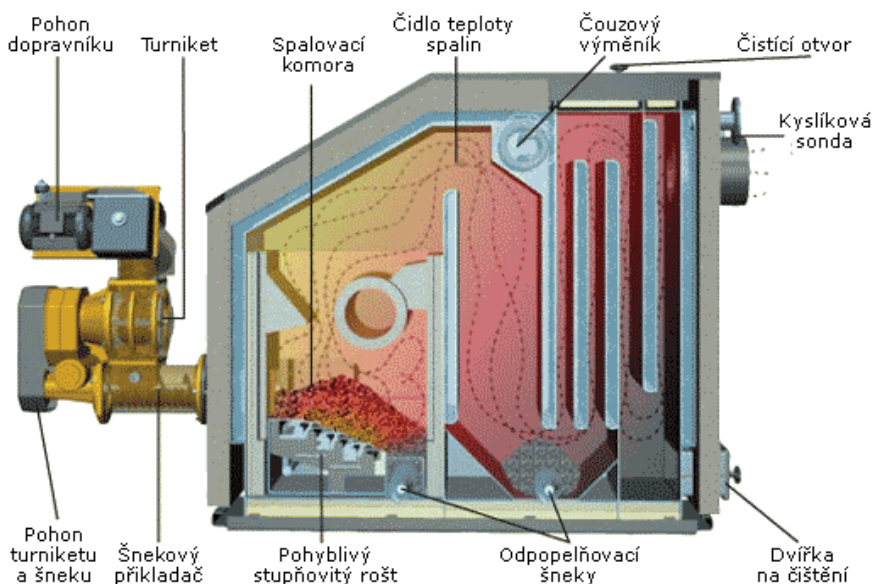
Automatické kotle



Obr. 8 Dřevní štěrka [18]

Představují nejnovější technologie spalování. Díky zásobníkům paliva o velkých objemech a automatickému doplňování paliva umožňují několikadenní bezobslužný provoz. Jsou převážně ocelové s nuceným i přirozeným odtahem spalin. Určeny jsou pro drobný dřevní odpad ve formě pilin a štěrky a pro pelety. Existuje mnoho konstrukčních řešení dopravy paliva, hořáků i kotlových těles. Vedle různého komfortu, jako je el. zapalování, a automatické odpopelňování, se vyznačují také různými cenami a různými požadavky na kvalitu paliva. Je nutné proto zvolit vhodné řešení pro dané podmínky i možnosti investora. Ceny automatických kotlů jsou dvoj až trojnásobné oproti obyčejným litinovým a ocelovým kotlům, jejich reálná účinnost však v celém režimu spalování u většiny výrobků přesahuje 80 %. Navíc možnost několikadenního nepřetržitého

provozu podstatně zvyšuje tepelnou pohodu ve vytápěném objektu, který není vystaven periodickému ohřívání a opětovnému vychládání.



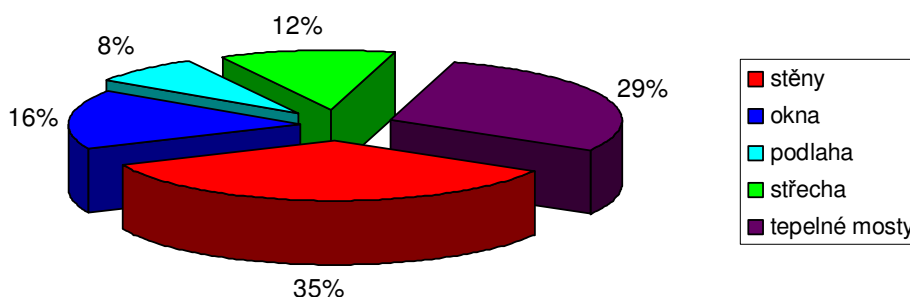
Obr. 9 Schéma kotle na dřevěné peletky [20]

Podstatnou nevýhodou kotlů na tuhá paliva je nutnost skladu paliva dostatečné velikosti. Další nevýhodou je potřeba pravidelné příkládky paliva do kotle. Tyto nevýhody mohou být kompenzovány nižší cenou paliva oproti zemnímu plynu či lehkým topným olejům.

4. ÚSPORNÁ OPATŘENÍ

Tato kapitola se zabývá možnostmi zlepšení tepelně technických vlastností obálky budovy ZŠ Budišov a použitím regulačních prvků ke zvýšení účinnosti využití tepelné energie. Graf 6 názorně zobrazuje přehled tepelných ztrát jednotlivými druhy konstrukce domu se zahrnutím tepelných mostů. Tento podíl platí při splnění požadavků normy ČSN 73 0540-2. Použitím kvalitního zateplení a moderních oken lze dosáhnout značných úspor energie na vytápění, především úspor peněžních.

Podíl konstrukcí na tepelné ztrátě budovy



Graf 6 Podíl tepelných ztrát konstrukcemi budovy při požadovaných hodnotách U_N [20]

Podkapitoly budou členěny podle finanční náročnosti jednotlivých úsporných opatření [7].

4.1 Středněnákladové opatření

4.1.1 Instalace termostatických ventilů

Princip

Termostatický ventil (viz. obr. 10) je prvek dynamické regulace jednotlivého spotřebiče (radiátoru). Reaguje na vnitřní teplotu v místnosti a v případě potřeby otevírá nebo uzavírá průtok topného média radiátorem.

Termostatický ventil se skládá ze dvou vzájemně často oddělitelných součástí:

- vlastní ventil škrťící průtok topné kapaliny radiátorem;
- termostatická hlavice reagující na okolní teplotu a ovládající držík ventilu.

Termostatický ventil se instaluje na přívodní potrubí těsně před zaústěním potrubí do vlastního radiátoru. Hlavice ventilu obsahuje látku, jejíž objem se mění v závislosti na měnící se teplotě okolí. Je-li teplota okolí v rovnováze s hlavicí, je průtok topné vody ventilem ustálen. Pokud teplota okolí stoupne, a to např. z důvodu slunečního záření nebo vnitřních

tepelných zisků, tepelně roztažná látka hlavice ventilu uzavírá průtok kapaliny radiátorem a snižuje jeho okamžitý topný výkon. Naopak, pokud teplota místnosti klesne (pominou tepelné zisky, klesne vnější teplota), průtok média radiátorem se obnoví, zvýší se jeho výkon a v důsledku toho se zvýší teplota místnosti na požadovanou úroveň.

Termostatické hlavice se vyrábějí v mnoha provedeních (viz. obr. 11). Liší se zejména možnostmi nastavení požadované teploty a odolností proti mechanickému poškození nebo odcizení. Pro veřejné prostory se vyrábějí hlavice zvláště odolné a snímatelné pouze s použitím speciálního nástroje. Jsou k dispozici i hlavice s pevně nastavenou teplotou, tj. bez možnosti uživatele ovlivňovat výši teploty v místnosti.

Vlastní ventily se vyrábějí rovněž v mnoha provedeních, které vyhoví všem montážním a hydraulickým podmínkám v potrubí.



Obr. 10 Termostatický ventil [7]



Obr. 11 Provedení TRV hlavice [7]

Montáž

Při montáži ventilů je velmi důležité hydraulické vyvážení otopného systému. V zásadě a především platí, že termostatickými ventily musí být vybaveny všechny radiátory jednoho otopného systému ústředního vytápění. Hydraulickým vyvážením se rozumí tento soubor opatření:

- detailní evidence všech úseků potrubního systému (všechny přímé úseky, odbočky, T-kusy, redukce apod.). Specifikace jejich délek, dimenzí a hydraulických odporů;
- přenesení těchto úseků do specializovaného aplikačního softwaru pro výpočet hydraulického vyvážení; sestavení modelu systému;
- výpočet parametrů čerpadel a škrticích a regulačních armatur včetně jejich přesného nastavení (s uvedením výrobce, typu armatury a polohy nastavovacích prvků);
- vyhotovení seznamu termostatických ventilů (opět s uvedením výrobce, typu a polohy nastavovacích prvků);
- ošetření stávajícího systému ÚT z hlediska existence tvorby inkrustů a následná průběžná kontrola chemického složení topné vody (ventily jsou náchylnější na poruchy vzniklé nečistotami než klasické kohouty);
- montáž termostatických ventilů a všech dalších prvků (čerpadel, armatur), první hrubé nastavení prvků v souladu s projektem;
- hydraulické vyvážení systému při provozu, měření průtoků a tlakových ztrát;
- topná zkouška v chladném období roku, definitivní dostavení ventilů a armatur.

Instalace termostatických ventilů je tedy opatřením systémovým. Žádný z výše uvedených kroků není možné vynechat nebo zanedbat. Pokud by tomu tak bylo, projeví se systém vážnými poruchami (nedotápěním, hlukem).

Podmínky provozu

Termostatické ventily jsou instalovány zejména všude tam, kde je provoz jednotlivých místností různorodý a jedna vedle druhé nemají v daném čase shodné tepelné zisky. Jsou např. různě obývány, je v nich v činnosti různé množství elektrických přístrojů, jsou různě osluněny apod.

Funkce termostatických ventilů je nepříznivě ovlivněna možnou nedisciplinovaností uživatelů. Nejzávažnější z nich jsou trvale nebo dlouhodobě otevřená okna. Termostatické ventily by tedy měly být umístěny pokud možno tak, aby na ně neproudil chladný vzduch z otevřeného okna. V takovém případě by hlavice vyhodnocovala stav okolí jako „chladno“ a otvírala by plně průtok topného média radiátorem.

Je dále třeba zdůraznit, že termostatický ventil nepracuje dle časového programu a jeho úkolem je zamezit přetápění v důsledku existence okamžitých lokálních tepelných zisků. Otopný systém tedy musí být v případě namontovaných termostatických ventilů provozován s teplotními útlumy během nočních hodin a měl by poskytovat takový tepelný výkon, který s malou rezervou právě kryje tepelnou potřebu objektu a jeho jednotlivých místností.

Investiční náklady

Je použita jednotková cena instalace, která je pro vícepodlažní objekt velmi dobře odbornými firmami akceptovatelná. Cena činí 1 500,- Kč (1 785,- Kč s 19% DPH) na radiátor, přičemž obsahuje:

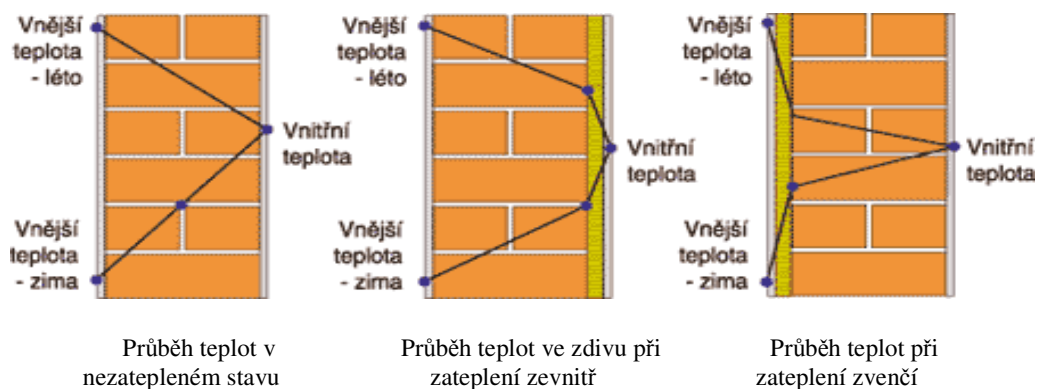
- zaměření stavu před instalací;
- projektovou dokumentaci;
- materiál pro radiátor (ventil, hlavice);
- regulační armatury pro paty stoupaček (regulace tlakové difference);
- mzdové náklady montáže ventilů a regulátorů na paty stoupaček;
- hydraulické vyrovnání systému – za studena;
- topná zkouška a doregulace – během otopného období;
- zakreslení stavu po instalaci s uvedením nastavovacích hodnot.

4.2 Vysokonákladová opatření

4.2.1 Tepelné izolace vnějších svislých konstrukcí

Zateplení obvodových stěn z vnější strany

Vnější zateplovací systémy jsou nejčastějším způsobem tepelné izolace objektů. Jejich obrovskou výhodou je celistvost tepelně izolační vrstvy. Izolace chrání objekt jako celek, nejen jeho oddělené části. Použitím vnějšího zateplovacího systému (viz. obr. 12) se také podstatnou měrou snižuje namáhání obvodové konstrukce – zejména jejich spojů – výkyvy teplot a povětrnostními vlivy. Pro trvalé obývání je také důležité zachování masivního zdiva uvnitř izolačního systému, což zaručuje dostatečnou tepelnou setrvačnost vnitřního prostoru.



Obr. 12 Způsoby zateplení objektu [7]

Způsoby vnějšího zateplení

Zateplení z vnější strany se provádí většinou formou kontaktních zateplovacích systémů – ETICS (anglický název pro vnější tepelně izolační kompozitní systémy extrenal thermal insulation composite systems).

Kontaktní zateplovací systémy tvoří jednotlivý celek jednotlivých vrstev systému. Tepelná izolace působí v tomto případě jako nosný prvek povrchových vrstev. Povrch fasády tvoří většinou omítka, v ojedinělých případech lepený obklad.

Fasádní kontaktní zateplovací systémy se dodávají v různých tloušťkách. Běžně používané jsou od 80 do 160 mm. Součinitel tepelné vodivosti je určen vlastnostmi polystyrenu nebo minerální vlny:

- | | | |
|-----------------------|----------------------------|----------------------|
| ▪ polystyrénové desky | tepelná vodivost λ | 0,038–0,043 W/(m.K); |
| ▪ minerální vlna | tepelná vodivost λ | 0,039–0,042 W/(m.K). |



Obr. 13 Polystyrénové desky [7]

Investiční náklady

Jednotková cena těchto prací a materiálu činí:

1 600,– Kč/m² bez DPH;
1 904,– Kč/m² s DPH 19 %.

4.2.2 Výměna výplní stavebních otvorů

Výplněmi stavebních konstrukcí dochází často k největším ztrátám tepelné energie, a to jak prostupem (příliš vysoká hodnota součinitele prostupu tepla U), tak infiltrací v důsledku vysoké spárové průvzdušnosti.

Vlastnosti moderních konstrukcí

Moderní okenní konstrukce s vícekomorovými profily (viz. obr. 14) mají vynikající zvukově a tepelně izolační vlastnosti. Vyrábějí se v různých barvách a provedeních.

Jednou z možností jsou okna plastová (z důvodu ošetřování), a to dnes již většinou pětikomorová, bez plnění plynem.

Norma ČSN 73 0540-2 (2007) doporučuje pro objekty okenní a dveřní konstrukce s těmito hodnotami součinitele prostupu tepla U :



Obr. 14 Řez plastovým oknem [7]

Konstrukce	Hodnota U_N [W/(m ² .K)]	
	Požadovaná	Doporučená
okna, dveře	1,70	1,20

Tab. 5 Hodnoty U_N

Poznámky k instalaci

Postupnou realizaci (nejdříve výměna oken a pak zateplení) nelze doporučit, neboť tento způsob sebou přináší výrazně vyšší náklady. Další podstatný důvod spočívá ve zhoršených vlastnostech obytného prostředí. Při výměně oken za nová dojde ke snížení spárové průvzdušnosti a tedy vyššímu utěsnění domu. Sníží se difúze vodních par do vnějšího prostředí. Pokud nebude současně objekt zateplen, bude na vnitřním povrchu chladných vnějších stěn docházet k povrchové kondenzaci vodní páry a následnému výskytu plísní.

Investiční náklady

Jednotková cena těchto prací a materiálu činí:

3 800,– Kč/m² bez DPH;
4 522,– Kč/m² s DPH 19 %.

5. POPIS STÁVAJÍCÍHO STAVU

5.1 Zdroj tepla

Teplo pro vytápění ZŠ Budišov je připravováno pomocí dvou kotlů na lehký topný olej Viessmann Paromat-Duplex-TR o jmenovitém tepelném příkonu 225 kW (viz obr. 15). Kotle jsou osazeny přetlakovými hořáky. Celkový instalovaný příkon kotelny je 450 kW. V době topné sezóny je v provozu pouze jeden z kotlů. Druhý kotel je spouštěn jen v případě velkého poklesu venkovní teploty.

Kotle jsou napojeny přes rozdělovač a sběrač na kotlový okruh, který slouží především pro vyrovnávání tlaků. Lehký topný olej (dále LTO) je skladován vedle kotelny v plastových nádržích (viz. obr. 16).



Obr. 15 Kotle Viessmann



Obr. 16 Zásobníky LTO

Zdroje tepla soustavy ÚT					
Zařízení	Palivo	Účinnost	Maximální tepelný příkon [kW]	Počet	Rok výroby
Viesmann Paroma Duplex TR	Lehký topný olej	85%	225	2	1994
Celkový instalovaný příkon zdrojů tepla pto ÚT			450 kW		

Tab. 6 Vlastnosti zdroje ÚT

Poznámka: účinnost byla stanovena s ohledem na vyhlášku 150/2001 Sb., kterou se stanoví minimální účinnost užití energie při výrobě elektřiny a tepelné energie. Pro palivové kotle spalující LTO do výkonu 0,5 MW je hodnota minimální účinnosti výroby tepelné energie 80 %.

Soustava ÚT je větvená. Všechny větve pro ústřední vytápění jsou vybaveny oběhovými čerpadly. Kotle slouží pouze pro účely vytápění.

Teplá voda pro provoz ZŠ je připravována pomocí elektrických průtokových ohříváčů. Školní kuchyně a jídelna je zásobována teplou vodou připravovanou pomocí 50 kW plynového kotle umístěného v suterénu přístavby školní jídelny.

Potřeba energie na ohřev teplé vody není v diplomové práci řešena.

5.2 Spotřeba LTO na vytápění

Pro zpracování diplomové práce byly k dispozici měsíční náměry spotřeby LTO za období let 2000 až 2006 (viz. tab. 7). Ze známé hodnoty výhřevnosti LTO lze pak stanovit spotřebu tepla za průměrný rok v GJ. Základní vlastnosti LTO a jednotkovou cenu uvádí tabulka 8.

Spotřeba LTO [m ³]								
měsíc	Rok							Průměr
	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	
leden	10,00	9,40	10,90	11,00	11,36	11,13	17,58	11,62
únor	11,50	9,95	9,06	10,59	9,90	11,29	12,71	10,71
březen	9,80	7,30	2,89	7,07	7,13	9,14	8,87	7,46
duben	1,90	5,28	3,80	4,97	6,81	3,01	5,24	4,43
květen	-	-	-	-	2,61	1,24	-	1,93
září	-	2,95	3,90	-	1,95	-	-	2,93
říjen	4,27	5,90	5,30	6,06	2,31	2,86	3,23	4,28
listopad	7,80	8,02	9,31	8,10	2,97	8,69	7,17	7,44
prosinec	8,51	9,90	6,30	9,97	9,98	10,09	5,11	8,55
Celkem	53,78	58,70	51,47	57,76	55,02	57,45	59,90	59,35

Tab. 7 Spotřeba LTO

Základní vlastnosti LTO

Vlastnosti LTO			
Palivo	Hustota [kg/m ³]	Výhřevnost [MJ/kg]	Cena [kč/litr]
LTO	910	42	17

Tab. 8 Vlastnosti LTO

Poznámka: cena LTO je stanovena za rok 2008 včetně dopravy a 19% DPH.

Stanovení potřeby tepla v GJ:

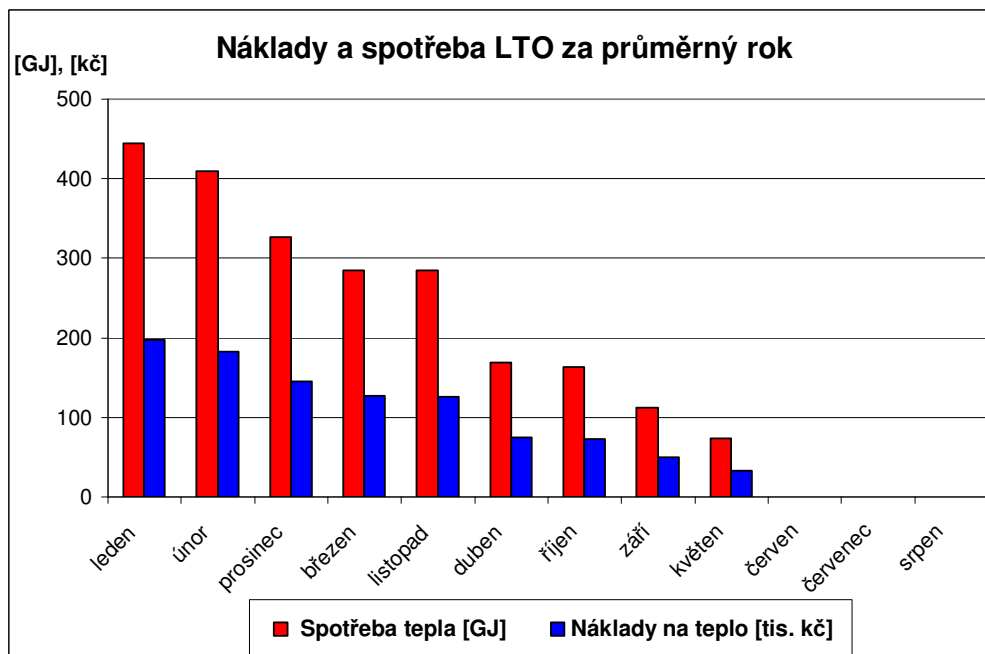
$$Q = \rho \cdot V \cdot Q_i^r = 910 \cdot 11,62 \cdot 42 = 444\,116,4 \text{ MJ} = \underline{\underline{444,1 \text{ GJ}}} \quad (5.2-1)$$

ρ – hustota LTO [kg/m³]

V – objem [m³]

Q_i^r – výhřevnost [MJ/kg]

Obdobně byly stanoveny spotřeby tepla v GJ i následujících měsících průměrného roku. Graf 7 ukazuje spotřebu v GJ a náklady na vytápění v Kč za průměrný rok.

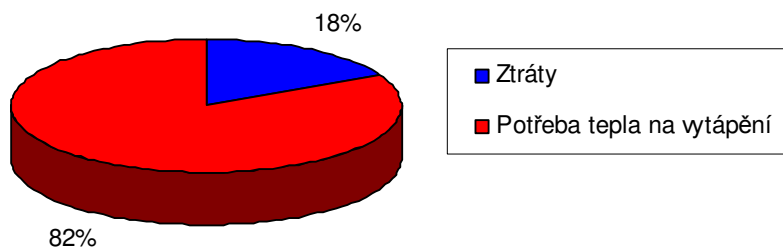


Graf 7 Spotřeba tepla a náklady na vytápění za průměrný rok

Spotřeba LTO za průměrný rok											
		měsíc									Celkem
		I	II	III	IV	V	IX	X	XI	XII	
Spotřeba	[m ³]	11,6	10,7	7,5	4,4	1,9	2,9	4,3	7,4	8,6	59,3
	[GJ]	444,3	409,5	285,0	169,3	73,6	112,2	163,4	284,2	326,8	2 268,3
Náklady	[tis. Kč]	197,6	182,2	126,8	75,3	32,7	49,9	72,7	126,4	145,4	1 008,9

Tab. 9 Přehled spotřeby a nákladů na vytápění LTO

Celková potřeba tepla v palivu na vytápění průměrný rok



Graf 8 Podíl ztrát na vytápění

Graf 8 ukazuje procentuální potřebu tepla na vytápění a podíl ztrát. Ve ztrátách je uvažována účinnost vlastního zdroje tepla včetně měření a regulace (dále MaR), ztráty v rozvodech (vnější a spodní) a MaR v objektu.

Ztráty ve vnějších rozvodech jsou nulové (kotelna je umístěna ve vytápěné budově). Ztráty ve spodních rozvodech jsou minimální, rozvody potrubí jsou opatřeny izolací a případné ztráty se podílejí na vytápění objektu ZŠ.

Největší podíl na celkové ztrátě má účinnost vlastního zdroje tepla a MaR v objektu.

6. NÁVRH ÚSPORNÝCH VARIANT

Na základě vyhodnocení současného stavu bylo v první fázi navrženo 6 možných variant změny vytápění objektu ZŠ Budišov.

1. Náhrada jednoho hořáku na LTO ve stávajícím kotli hořákem na ZP.
2. Instalace nového plynového kotle do nové kotelny pod budovou jídelny.
3. Instalace kotle na biomasu.
4. Instalace kaskádového zapojení kotlů 50 kW do nové kotelny pod budovou jídelny.
5. Náhrada hořáků na LTO u obou kotlů hořáky na ZP.
6. Ponechání současného stavu.

Následující podkapitoly budou členěny podle jednotlivých variant.

6.1 Varianta č. 1.

Tato varianta se věnuje možnosti nahradit prozatím u jednoho stávajícího kotle olejový hořák za plynový. Druhý z kotlů by byl zachován jako špičkový zdroj v období s velkými poklesy teplot. V kalkulaci je započítána cena hořáku, montáž a kompletní vybudování přípojky plynu, neboť podle dodaných informací je stávající plynové potrubí porušeno. Lze předpokládat, že pokud by se plynovod pouze opravil, byla by cena nižší. Předpokládané investiční náklady jsou vyčísleny v tabulce 10 na základě nabídek firem Viessmann a Agstav Třebíč.

Náklady na realizaci varianty č. 1	
Popis investice	Cena [Kč]
Hořák Weishaupt WG 30N/1-C 3/4"/07 ZM-LN	76 870
Práce a doprava hořáku	20 000
Plynovodní přípojka 15 m	22 310
Plynovod venkovní 80 m	78 960
Projektová dokumentace, povolení a jiné náklady	40 000
Celkem	238 140
Celkem s 19 % DPH	283 387

Tab. 10 Přehled investic varianty č. 1.

Dle informací fy. Viessmann při zachování teploty spalín na výstupu z kotle není třeba upravovat komín.

Je však třeba si uvědomit, že při náhradě pouze jednoho hořáku by bylo třeba ve špičce topné sezony dotápět pomocí druhého kotle na LTO, čímž by se snížila celková úspora paliva.

6.1.1 Úspora oproti LTO

Pro porovnání úspor při použití zemního plynu (dále ZP) bylo vycházeno z průměrné spotřeby LTO za posledních sedm let (tj. 2000 až 2006). Ze známých vlastností LTO a ZP (viz. tab. 11) byla stanovena spotřeba i finanční náklady na vytápění ZP.

Vlastnosti zemního plynu				
Palivo	Hustota ρ	Výhřevnost Q_i^r	Spalné teplo Q_r^s	Cena
	[kg/m ³]	[MJ/kg]	[kWh/m ³]	[Kč/MWh]
ZP	0,83	34,05	10,55	1 150,53

Tab. 11 Vybrané vlastnosti ZP

Poznámka: cena zemního plynu 1 150,53,- Kč/MWh je konečná cena společnosti Jihomoravská plynárenská pro střední odběratele (tj. se spotřebou nad 630 do 4 200 MWh/rok, charakter odběrného místa Z2) včetně DPH, platnost ceny je od 1. 10. 2008 do 31. 12. 2008 [21].

Stanovení potřeby ZP

Je vycházeno ze spotřeby LTO za průměrný rok (viz. tab. 7) převedené na spotřebu v GJ. Pomocí známých vlastností paliv je stanovena potřeba a náklady na vytápění zemním plynem.

- množství ZP v m³ za měsíc leden

$$V_{ZP} = \frac{Q \cdot 10^3}{Q_i^r} = \frac{444,263 \cdot 10^3}{34,05} = \underline{\underline{13\,047\,m^3}} \quad (6.1.1-1)$$

- množství ZP v MWh

$$Q_{ZP} = \frac{V_{ZP} \cdot Q_r^s}{10^3} = \frac{13\,047 \cdot 10,55}{10^3} = \underline{\underline{137,7\,MWh}} \quad (6.1.1-2)$$

- stanovení ceny ZP

$$N = Q_{ZP} \cdot N_{ZP} = 137,7 \cdot 1\,150,53 = 158\,427,9\,Kč = \underline{\underline{158,4\,tis.\,Kč}} \quad (6.1.1-3)$$

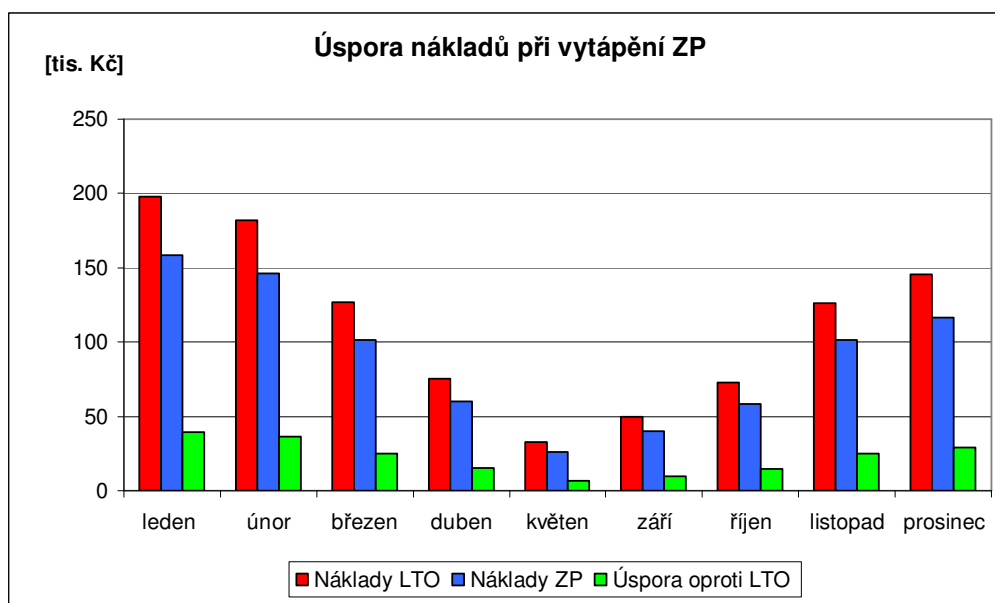
- úspora oproti LTO

$$U = N_{LTO} - N_{ZP} = 197,6 - 158,4 = \underline{\underline{39,2\,tis.\,Kč}} \quad (6.1.1-4)$$

Obdobně byly stanoveny hodnoty v následujících měsících průměrného roku i celková úspora. Celkový přehled nákladů a úspor je v tabulce 12 a graficky znázorněn v grafu 9.

Porovnání nákladů na vytápění LTO x ZP							
	Spotřeba LTO		Náklady LTO	Spotřeba ZP		Náklady ZP	Úspora
měsíc	[m ³]	[GJ]	[tis. Kč]	[m ³]	[MWh]	[tis. Kč]	[tis. Kč]
leden	11,62	444,3	197,6	13 047	137,7	158,4	39,2
únor	10,71	409,5	182,2	12 027	126,9	146,0	36,2
březen	7,46	285,0	126,8	8 371	88,3	101,6	25,2
duben	4,43	169,3	75,3	4 972	52,5	60,3	15,0
květen	1,93	73,6	32,7	2 162	22,8	26,2	6,5
září	2,93	112,2	49,9	3 294	34,7	40,0	9,9
říjen	4,28	163,4	72,7	4 800	50,6	58,3	14,4
listopad	7,44	284,2	126,4	8 347	88,1	101,3	25,1
prosinec	8,55	326,8	145,4	9 599	101,3	116,5	28,9
Celkem	59,35	2 268,3	1 008,9	66 617,3	702,8	808,6	200,3

Tab. 12 Přehled nákladů a úspor varianty 1



Graf 9 Náklady LTO, ZP a úspory při použití ZP

Uvedené úspory budou ve skutečnosti menší. Důvodem je použití druhého kotle jako záložního zdroje tepla při velkém poklesu venkovní teploty. Funkce záložního kotle je zohledněna v ekonomickém zhodnocení 25% snížením úspor této varianty (tj. 50 tis. Kč). Při předpokladu, že venkovní plynovod by nebylo třeba budovat zcela nový, ale pouze opravit přerušovaný úsek, by se celkové náklady na variantu 1 snížily o cenu plynovodu (tj. cca 80 tis. Kč).

6.2 Varianta č. 2

Varianta se zabývá nákupem nového plynového kotle o výkonu cca 250 kW (technická data viz. tabulka 14). Kotel by byl umístěn v nové kotelně, kde je v současnosti 50 kW plynový kotel, který zabezpečuje provoz klimatizace. Jeden stávající kotel na LTO by byl zachován jako záložní zdroj.

Řešení počítá se samostatným vnějším komínem pro nový kotel, neboť není zřejmé, zda je komínový systém nové kotelný dimenzován na potřebnou velikost. Tato položka však není v celkových nákladech rozhodující. Přehled předpokládaných investic uvádí tabulka 13. Tato varianta by také předpokládala úpravu plynové přípojky.

Náklady na realizaci varianty č. 2	
Popis investice	Cena
	[Kč]
Kotel Buderus 250 kW Logano GE434-250 bez regulace	396 000
Regulace kotle	24 700
Instalace, revize	100 000
Komín, výška 6 metrů (včetně prací)	27 000
Úprava plynovodní přípojky	20 000
Projektová dokumentace, povolení a jiné náklady	40 000
Celkem	607 700
Celkem s 19 % DPH	723 163

Tab. 13 Přehled investic varianty č. 2



Obr. 17 Kotel Buderus 250 kW [14]

Technická data kotlů Buderus Logano GE 434							
Logano GE434			200 kW	250 kW	275 kW	325 kW	375 kW
Počet článků		[ks]	2 x 9	2 x 11	2 x 12	2 x 14	2 x 16
Výkon	snížený	[kW]	100	125	137,5	162,5	187,5
	plný	[kW]	200	250	275	325	375
Příkon	snížený	[kW]	108	134,5	148	175	202
	plný	[kW]	216	269	296	350	404
Hmotnost		[kg]	1 017	1 228	1 330	1 526	1 718
Vodní objem kotle		[l]	203	247	269	312	356
Teplota spalín	snížený výkon	[°C]	75	76	76	91	84
	plný výkon	[°C]	110	103	109	116	124
Hmot. tok spalín	snížený výkon	[kg/s]	0,1146	0,1505	0,1612	0,1958	0,209
	plný výkon	[kg/s]	0,1393	0,1903	0,1938	0,2398	0,2497
Obsah CO ₂	snížený výkon	[%]	3,7	3,5	3,6	3,5	3,8
	plný výkon	[%]	6,3	5,7	6,2	5,9	6,6
Potřebný tah		[Pa]	3				
Max. tepl. vody		[°C]	120				
Max. provozní tlak		[bar]	6				

Tab. 14 Technická data kotlů Buderus [14]

Sporným bodem této varianty je zapojení kotle do topného okruhu. Kotel by byl jednou stávající větví napojen do kotlového výměníku ve staré kotelně. Při velké vzdálenosti mezi kotelny zde budou ovšem větší tepelné ztráty.

Úspory dosažené při realizaci varianty 2 jsou srovnatelné s variantou 1. Co se týká nákladů jsou cca 2,5x vyšší v porovnání s předchozí variantou. Nelze ani předpokládat výrazné snížení nákladů prodejem jednoho stávajícího kotle. Druhý kotel by zůstal opět zachován jako záložní zdroj, čímž zůstává nutnost dopravy a ponechání skladu LTO, což je neefektivní jak z technického tak i ekonomického hlediska.

6.3 Varianta č. 3

Varianta 3 uvažuje instalaci kotle na biomasu, konkrétně na dřevní štěpku. Tyto kotle jsou provozně nejvíce prověřeny. Kotel by byl instalován ve staré kotelně. Předpokládaná cena instalace kotle na dřevní štěpku o výkonu 400 kW se pohybuje v relaci 1,3 až 1,5,– mil. Kč. Při použití kotle na kusové dřevo je cena vyšší přibližně o 500 až 750,– tis. Kč z důvodu nákladnějšího systému dopravy paliva do kotle. Předpokládaný přehled nákladů na vytápění dřevní štěpkou je uveden v tabulce 16.

6.3.1 Úspora oproti LTO

Pro porovnání nákladů na vytápění dřevem a dřevní štěpkou je postupováno shodně jako u kapitoly 6.1.1. Vlastnosti a cenu dřeva a dřevní štěpky ukazuje tabulka 15.

Vlastnosti dřeva a dřevní štěpky			
Palivo	Hustota	Výhřevnost	Cena
	[kg/rm]	[MJ/rm]	[Kč/rm]
Dřevo	415	5 440	900
	[kg/prms]	[MJ/kg]	[Kč/kg]
Dřevní štěpka	230	14,2	2,56

Tab. 15 Vlastnosti dřeva a dřevní štěpky

Poznámka:

- rm – 1 m³ rovnaných polen, obsahuje 60–75 % dřeva (prostorový metr);
- prms – 1 m³ volně ložené nezhutněné štěpky (prostorový metr);
- jako dřevo je uvažován smrk, hodnoty jsou vztaženy k 25% vlhkosti;
- výhřevnost dřevní štěpky je při 20% vlhkosti.

Stanovení potřeby dřeva a dřevní štěpky

Postup obdobný jako u kap. 6.1.1.

- množství dřeva a štěpky

$$V_{dř} = \frac{Q \cdot 10^3}{dř \cdot Q_i^r} = \frac{444,263 \cdot 10^3}{5\,440} = \underline{\underline{81,7 \text{ rm}}} \quad (6.3.1-1)$$

$$M_{dř.ště} = \frac{Q \cdot 10^3}{dř.ště \cdot Q_i^r} = \frac{444,263 \cdot 10^3}{14,2} = \underline{\underline{31\,286 \text{ kg}}} \quad (6.3.1-2)$$

$$V_{dř.ště} = \frac{M_{dř.ště}}{\rho_{dř.ště}} = \frac{31\,286}{230} = \underline{\underline{136 \text{ prms}}} \quad (6.3.1-3)$$

- náklady na vytápění

$$N_{dř} = V_{dř} \cdot C_{dř} = 81,7 \cdot 900 = \underline{\underline{73,5 \text{ tis. Kč}}} \quad (6.3.1-4)$$

$$N_{dř.ště} = M_{dř.ště} \cdot C_{dř.ště} = 31\,286 \cdot 2,56 = \underline{\underline{80,1 \text{ tis. Kč}}} \quad (6.3.1-5)$$

- výše úspor oproti LTO

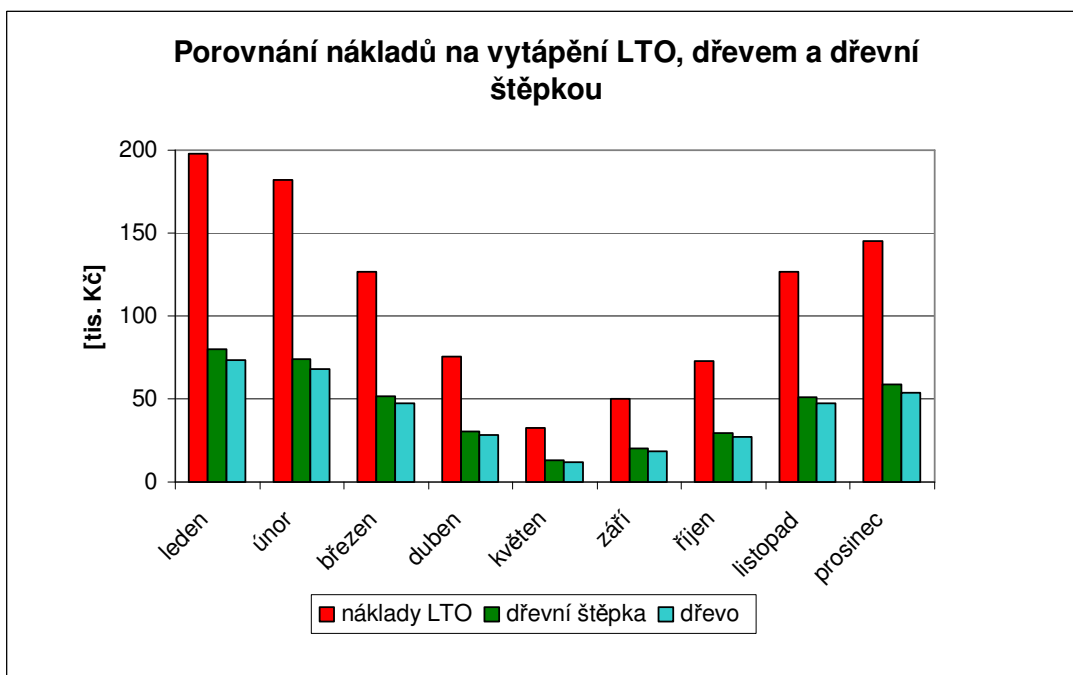
$$U_{dř} = N_{LTO} - N_{dř} = 197,6 - 73,5 = \underline{\underline{124,1 \text{ tis. Kč}}} \quad (6.3.1-6)$$

$$U_{dř.ště} = N_{LTO} - N_{dř.ště} = 197,6 - 80,1 = \underline{\underline{117,5 \text{ tis. Kč}}} \quad (6.3.1-7)$$

Přehled nákladů a úspor při použití dřeva a dřevní štěpky zobrazuje tabulka 16. Graf 10 ukazuje porovnání nákladů na vytápění při použití LTO, dřeva a dřevní štěpky.

Náklady a úspory varianty č. 3							
měsíc	Spotřeba			Cena		Úspora	
	dřevo	dřevní štěpka		dřevo	dřevní štěpka	dřevo	dřevní štěpka
	[rm]	[kg]	[prms]	[tis. Kč]	[tis. Kč]	[tis. Kč]	[tis. Kč]
leden	81,7	31 286	136	73,5	80,1	124,1	117,5
únor	75,3	28 840	125	67,8	73,8	114,4	108,3
březen	52,4	20 072	87	47,2	51,4	79,6	75,4
duben	31,1	11 921	52	28,0	30,5	47,3	44,8
květen	13,5	5 184	23	12,2	13,3	20,6	19,5
září	20,6	7 898	34	18,6	20,2	31,3	29,7
říjen	30,0	11 509	50	27,0	29,5	45,7	43,2
listopad	52,2	20 014	87	47,0	51,2	79,4	75,2
prosinec	60,1	23 017	100	54,1	58,9	91,3	86,5
Celkem	417	159 741	695	375,3	408,9	633,7	600

Tab. 16 Náklady a úspory varianty 3



Graf 10 Porovnání nákladů LTO, dřeva a dřevní štěpky

Varianta je velmi výhodná po finanční stránce a bude řešena ekonomickým zhodnocením.

6.4 Varianta č. 4

Varianta 4 předpokládá instalaci kaskády 5–7 kotlů o výkonu 50 kW v nové kotelně. Byly osloveny dvě firmy nabízející tyto instalace. Ani jedna firma na základě dodaných podkladů nedodala cenovou nabídku z důvodu nejasného zadání. Obě firmy vyjádřily pochybnosti o vhodnosti tohoto řešení z technických důvodů uvedených u varianty 2. Lze předpokládat, že by tato varianta byla investičně náročnější než varianta 2. Příklad zapojení kaskádové kotelny je na obrázku 18.



Obr. 18 Kaskádová kotelna [13]

Úspory u této varianty by byly srovnatelné s úsporami u varianty 1 a 2. Ovšem z technického hlediska náročnosti úpravy stávajícího systému vytápění a investic vložených do tohoto řešení nebyla dále tato varianta řešena.

6.5 Varianta č. 5

Varianta se zabývá možností nahrazení hořáků u obou stávajících kotlů na LTO hořáky na zemní plyn. Jedná se o přechod vytápění z LTO na zemní plyn. Výše finančních úspor by dosahovala hodnot jako u varianty č. 1 (viz. kap.6.1). Investice do tohoto opatření by byla vyšší oproti variantě č. 1 o cenu plynového hořáku pro druhý kotel. Tato možnost se jeví jako nejlepší co se týče technické náročnosti přípravy a celkové návratnosti vložených investic.

Přehled investic a úspor projektu je následující:

- investice do projektu $N_i^{\text{var}1} = 284\,000,- \text{ Kč}$ náklady na var. č.1;
 $N_i^{\text{var}5} = 100\,000,- \text{ Kč}$ náklady na druhý hořák;
 $N_i^{\text{celkové}} = \underline{\underline{\text{cca } 400\,000,- \text{ Kč}}}$ celkové náklady na var. č.5.
- roční úspora na vytápění $U^{\text{var}5} = \underline{\underline{200\,000,- \text{ Kč}}}$
- prostá doba návratnosti $T_0 = \frac{N_i^{\text{celkové}}}{U^{\text{var}5}} = \frac{400\,000}{200\,000} = \underline{\underline{2 \text{ roky}}}$ (6.5–1)

6.6 Varianta č. 6

Tato varianta se zabývá možností ponechání stávajícího způsobu vytápění ZŠ, tj. pomocí LTO. Současný stav byl popsán v kapitole 5. Při porovnání nynějšího způsobu vytápění ZŠ Budišov a jednotlivých variant (především varianty 1, 3 a 5) je patrné (viz tab. 17), že zachování stávajícího stavu je nevýhodné jak z ekonomického tak i z technického hlediska. Oproti zemnímu plynu je při použití LTO nutné palivo dopravit a skladovat v nádržích.

LTO bude v souvislosti se zavedením tzv. zelené daně, zcela jistě více zatížen oproti ZP či dřevu. Používání LTO pro vytápění je příliš finančně nákladné a dnes již zastaralé.

Porovnání současného stavu a navrhovaných variant			
Palivo	Náklady na vytápění za rok	Jednotková cena	Úspora za rok
	[tis. Kč]	[Kč/GJ]	[tis. Kč]
LTO	1 008,93	444,79	-
ZP	808,61	356,48	200,33
Dřevní štěpka	408,94	180,28	600,00
Dřevo	375,27	165,44	633,66

Tab. 17 Porovnání nákladů

7. EKONOMICKÁ ANALÝZA VARIANT

V této kapitole budou uvedeny výsledky ekonomického hodnocení [4] varianty č. 1, 3 a 5. Zhodnocení variant č. 2 a 4 zde nebude uvedeno. Tyto varianty by předpokládaly přesunutí kotelný do budovy školní jídelny a napojení na stávající topný systém pomocí samostatné větve vedoucí do původní kotelný. Vzhledem k těmto technickým překážkám a finanční náročnosti řešení bylo od tohoto způsobu řešení upuštěno.

7.1 Ekonomické zhodnocení varianty č. 1

Vstupy ekonomického zhodnocení:

- investiční náklady $N_i = 300\,000,- \text{ Kč}$
- roční úspory $CF = 150\,000,- \text{ Kč}$
- diskontní sazba $d = 2,5 \%$
- doba hodnocení projektu $T_i = 10 \text{ let}$

Poznámka: diskontní sazba ČNB ke dni 2. 10. 2008; roční úspora je snížena o 25 % z důvodu použití druhého kotle jako záložního zdroje při velkém poklesu teplot.

Diskontovaný tok peněz v j-tém roce

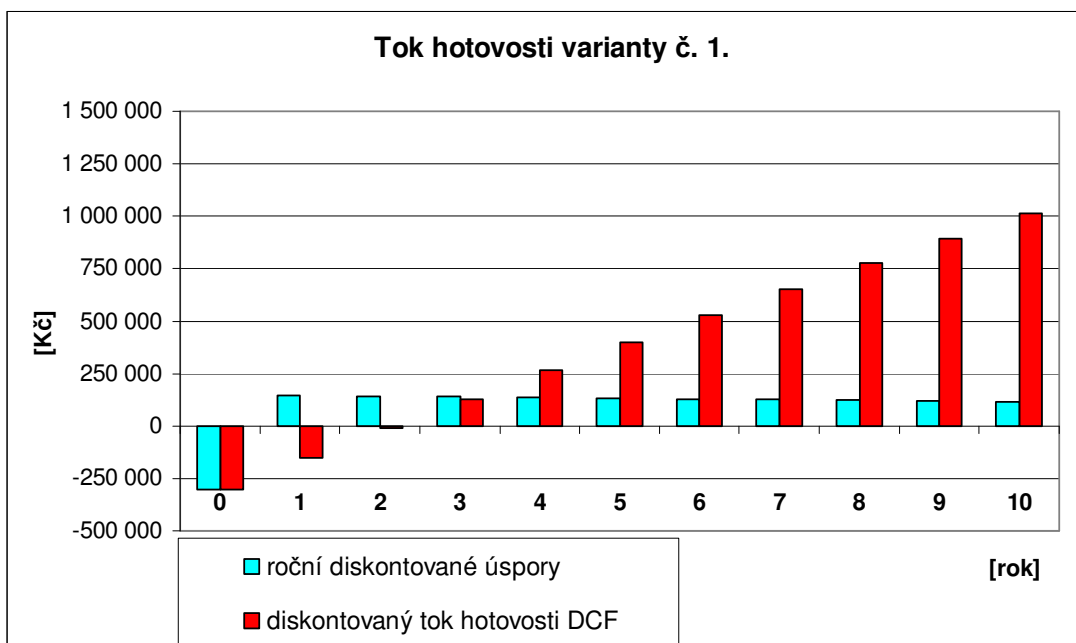
$$DCF_j = CF(1+d)^{-j} + DCF_{j-1} \quad (7.1-1)$$

Vzorec (7.1-1) je uveden pouze v obecném tvaru. Hodnoty DCF v jednotlivých letech životnosti projektu jsou uvedeny v následující tabulce 18.

Ekonomické zhodnocení varianty č. 1			
T_j [rok]	CF [Kč]	$CF(1+d)^j$ [Kč]	DCF [Kč]
0	-300 000	-300 000	-300 000
1	150 000	146 341	-153 659
2	150 000	142 772	-10 886
3	150 000	139 290	128 404
4	150 000	135 893	264 296
5	150 000	132 578	396 874
6	150 000	129 345	526 219
7	150 000	126 190	652 409
8	150 000	123 112	775 521
9	150 000	120 109	895 630
10	150 000	117 180	1 012 810

Tab. 18 Diskontovaný tok peněz DFC, tok peněz CF a tok peněz s uvažováním znehodnocování financí

Počet uváděných let v ekonomickém zhodnocení je pouze 10, i když životnost kotle po výměně hořáku na zemní plyn bude vyšší.



Graf 11 Průběh diskontovaných ročních úspor a diskontovaného toku DCF

Doba návratnosti

- prostá doba návratnosti:

$$T_0 = \frac{N_i}{CF} = \frac{300\,000}{150\,000} = \underline{\underline{2 \text{ roky}}} \quad (7.1-2)$$

- doba návratnosti s uvažováním znehodnocování hotovosti:

$$T_s = \frac{\ln \frac{1}{1 - T_0 \cdot d}}{\ln(1 + d)} = \frac{\ln \frac{1}{1 - 2 \cdot 0,025}}{\ln(1 + 0,025)} = \underline{\underline{2,1 \text{ roku}}} \quad (7.1-3)$$

Vnitřní výnosové procento (IRR)

- výpočet je proveden iterační metodou:

$$N_i - \sum CF(1 + d)^{-j} = 0 \quad (7.1-4)$$

$$r_i = 1 + u_i \quad \text{zvoleno} \quad u_i = 0,4 \quad (7.1-5)$$

$$u_i = \frac{CF}{N_i} \cdot \frac{r_i^T - 1}{r_i^T} = \frac{150\,000}{300\,000} \cdot \frac{1,4^{10} - 1}{1,4^{10}} = 0,48 \Rightarrow \underline{\underline{49 \%}} \quad (7.1-6)$$

Iterační výpočet IRR ukázal, že peníze v bance by musely být zhodnoceny úrokem 49 %, aby bylo dosaženo stejného zisku z vložené investice.

7.2 Ekonomické zhodnocení varianty č. 3

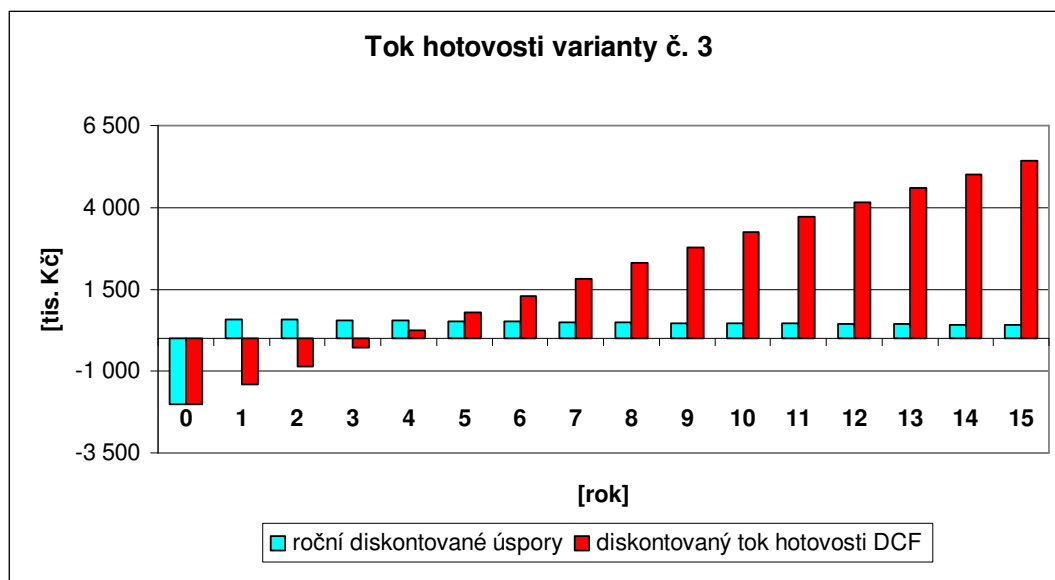
Vstupy ekonomického zhodnocení:

- investiční náklady $N_i = 2\,000\,000,- \text{ Kč}$
- roční úspory $CF = 600\,000,- \text{ Kč}$
- diskontní sazba $d = 2,5 \%$
- doba hodnocení projektu $T_i = 15 \text{ let}$

Výpočet ekonomického zhodnocení je stejný jako v podkapitole 7.1 proto zde budou uvedeny pouze výstupy výpočtu diskontovaného toku peněz DFC (viz. tab. 19 a graf 12).

Ekonomické zhodnocení varianty č. 3							
T_j [rok]	CF [tis. Kč]	$CF(1+d)^{-j}$ [tis. Kč]	DCF [tis. Kč]	T_j [rok]	CF [tis. Kč]	$CF(1+d)^{-j}$ [tis. Kč]	DCF [tis. Kč]
0	-2 000	-2 000	-2 000	8	600	492	2 302
1	600	585	-1 415	9	600	480	2 783
2	600	571	-844	10	600	469	3 251
3	600	557	-286	11	600	457	3 709
4	600	544	257	12	600	446	4 155
5	600	530	787	13	600	435	4 590
6	600	517	1 305	14	600	425	5 015
7	600	505	1 810	15	600	414	5 429

Tab. 19 Diskontovaný tok peněz DFC, tok peněz CF a tok peněz s uvažováním znehodnocování financí



Graf 12 Průběh diskontovaných ročních úspor a diskontovaného toku DCF varianty č. 3

Doba návratnosti

- prostá doba návratnosti:

$$T_0 = \frac{N_i}{CF} = \frac{2\,000\,000}{600\,000} = \underline{\underline{3,33 \text{ roku}}} \quad (7.2-1)$$

- doba návratnosti s uvažováním znehodnocování hotovosti:

$$T_s = \frac{\ln \frac{1}{1 - T_0 \cdot d}}{\ln(1 + d)} = \frac{\ln \frac{1}{1 - 3,33 \cdot 0,025}}{\ln(1 + 0,025)} = \underline{\underline{3,5 \text{ roku}}} \quad (7.2-2)$$

Vnitřní výnosové procento (IRR)

- výpočet je proveden iterační metodou:

$$N_i - \sum CF(1 + d)^{-j} = 0 \quad (7.2-3)$$

$$r_i = 1 + u_i \quad \text{zvoleno} \quad u_i = 0,2 \quad (7.2-4)$$

$$u_i = \frac{CF}{N_i} \cdot \frac{r_i^T - 1}{r_i^T} = \frac{600\,000}{2\,000\,000} \cdot \frac{1,2^{15} - 1}{1,2^{15}} = 0,28 \Rightarrow \underline{\underline{29 \%}} \quad (7.2-5)$$

Investice do této varianty je velmi výhodná po finanční stránce. Ovšem jsou zde technické problémy realizace tohoto způsobu vytápění. Týká se to především zajištění dostatečného množství dřeva (případně dřevní štěpky) pro provoz kotle. Předpokládalo by se využití dřeva z obecního lesa městyse Budišov, což znamená roční potřebu cca 700 prms dřevní štěpky a dostatečnou zásobu dřeva na další léta provozu kotelný.

Problémem je příprava dřevní štěpky v takovémto množství, vybudování skladu paliva o dostatečné kapacitě a nutnost příkládky během provozu. Což jsou další investice, které nejsou v tomto ekonomickém zhodnocení zahrnuty. K těmto nákladům je nutné přičíst práci potřebnou k zajištění všech výše vyjmenovaných operací.

Proto tuto variantu nelze především z technického, ale i ekonomického hlediska doporučit.

7.3 Ekonomické zhodnocení varianty č. 5

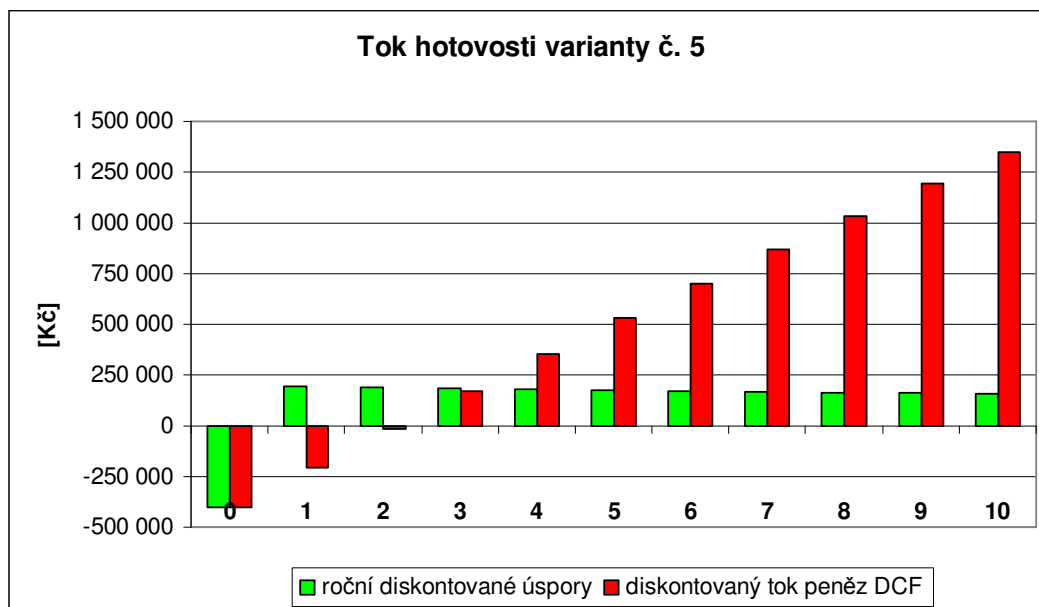
Vstupy ekonomického zhodnocení:

- investiční náklady $N_i = 400\,000,- \text{ Kč}$
- roční úspory $CF = 200\,000,- \text{ Kč}$
- diskontní sazba $d = 2,5 \%$
- doba hodnocení projektu $T_i = 10 \text{ let}$

Výpočet ekonomického zhodnocení je rovněž stejný jako v podkapitole 7.1 proto zde budou uvedeny pouze výstupy výpočtu DFC a CF (viz. tab. 20 a graf 13).

Ekonomické zhodnocení varianty č. 5			
T_i [rok]	CF [Kč]	$CF(1+d)^i$ [Kč]	DCF [Kč]
0	-400 000	-400 000	-400 000
1	200 000	195 122	-204 878
2	200 000	190 363	-14 515
3	200 000	185 720	171 205
4	200 000	181 190	352 395
5	200 000	176 771	529 166
6	200 000	172 459	701 625
7	200 000	168 253	869 878
8	200 000	164 149	1 034 027
9	200 000	160 146	1 194 173
10	200 000	156 240	1 350 413

Tab. 20 Diskontovaný tok peněz DFC, tok peněz CF



Graf 13 Průběh diskontovaných ročních úspor a diskontovaného toku peněz DCF var. č. 5

Doba návratnosti

- prostá doba návratnosti:

$$T_0 = \frac{N_i}{CF} = \frac{400\,000}{200\,000} = \underline{\underline{2 \text{ roky}}} \quad (7.3-1)$$

- doba návratnosti s uvažováním znehodnocování hotovosti:

$$T_s = \frac{\ln \frac{1}{1 - T_0 \cdot d}}{\ln(1 + d)} = \frac{\ln \frac{1}{1 - 2 \cdot 0,025}}{\ln(1 + 0,025)} = \underline{\underline{2,1 \text{ roku}}} \quad (7.3-2)$$

Vnitřní výnosové procento (IRR)

- výpočet je proveden iterační metodou:

$$N_i - \Sigma CF(1 + d)^{-j} = 0 \quad (7.3-3)$$

$$r_i = 1 + u_i \quad \text{zvoleno} \quad u_i = 0,4 \quad (7.3-4)$$

$$u_i = \frac{CF}{N_i} \cdot \frac{r_i^T - 1}{r_i^T} = \frac{200\,000}{400\,000} \cdot \frac{1,4^{10} - 1}{1,4^{10}} = 0,48 \Rightarrow \underline{\underline{49 \%}} \quad (7.3-5)$$

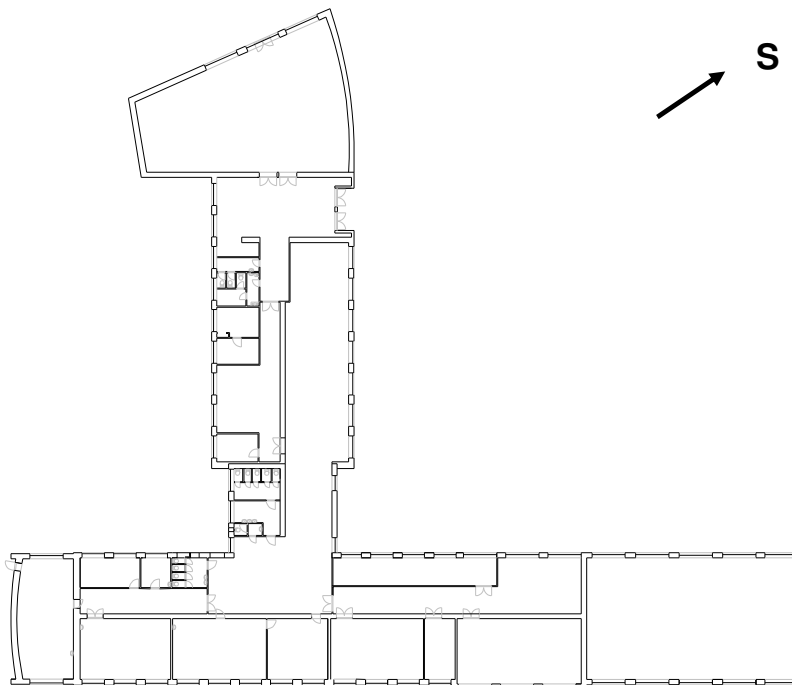
Jak vyplývá z ekonomických výpočtů je tato varianta po finanční stránce velmi výhodná. Vnitřní výnosové procento je srovnatelné jako u var. č. 1, ale na druhou stranu můžeme tuto variantu považovat za komplexnější řešení dané situace oproti var. č. 1. Předpokládá se, že budou nahrazeny oba hořáky na LTO čímž vytápění budovy ZŠ Budišov bude zajištěno výhradně zemním plynem. Odpadne potřeba dopravy a skladování paliva jako tomu bylo dopsud.

8. NÁVRH ÚSPORNÝCH OPATŘENÍ

8.1 Postup a metodika výpočtu

Pro stanovení výpočtu úspor a nákladů úsporných opatření popsaných v kapitole 4, byl vytvořen model potřeby tepelné energie budovy základní školy v Budišově podle [7]. Vychází se z metod popsaných v odpovídajících normách, zejména pak v normě ČSN EN ISO 13790 a ČSN 73 0540. Tvorba fyzikálního modelu spočívá v těchto krocích:

- rozdělení objektu na teplotní zóny a podzóny v souladu ČSN EN ISO 13790 – volba jednozónového či vícezónového výpočtu;
- výpočet tepelně technických vlastností obálky zón z vlastností konstrukcí (zpravidla obvodový plášť, střecha, nejnížší podlaha);
- odhad a stanovení provozních parametrů jednotlivých zón a podzón;
- stanovení tepelných ztrát objektu větráním a prostupem v jednotkách [W/K];
- výpočet disponibilních tepelných zisků z vnitřních zdrojů a ze slunečního záření a určení stupně využití těchto zisků;
- určení potřeby tepla v objektu po jednotlivých měsících a pro konkrétní klimatické podmínky.



Obr. 19 Půdorys 1. NP ZŠ Budišov

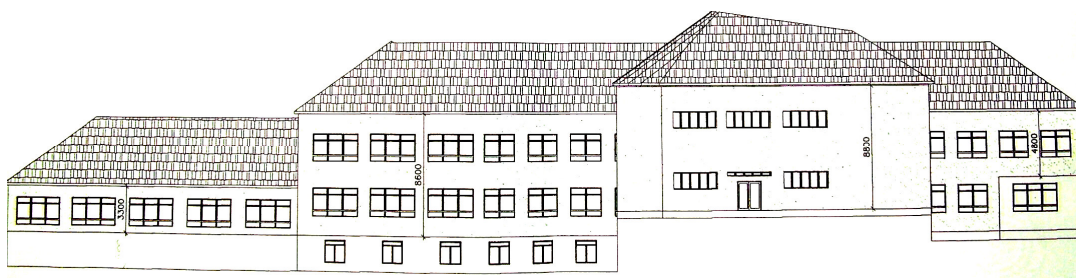
Norma ČSN EN ISO 13790 stanoví metody výpočtu energetické náročnosti objektů s ohledem na tepelné ztráty a využití tepelných zisků. Dle této normy je stanovena přípustná odchylka výsledků mezi spotřebou (dle faktur) a potřebou (dle modelu) na 20 %.

Vzhledem k tomu, že nebyla k dispozici původní projektová dokumentace budovy ZŠ, vychází se pro stanovení skladby jednotlivých konstrukcí s ohledem na dobu výstavby (tj. rok 1951). Pro stanovení půdorysných ploch byl použit výkres půdorysu 1. NP (viz obr.19) a pohledy z jednotlivých světových stran (viz. obr. 20 a 21).

Pro výpočet tepelných ztrát budovy školy byl zvolen jednozónový model s třemi podzónami podle způsobu využití. Základní charakteristické vlastnosti budovy uvádí tab. 21.



Obr. 20 Pohled jihozápadní



Obr. 21 Pohled severovýchodní

Přehled ploch konstrukcí		
Systémové hranice	Plocha [m ²]	
	Zóna	Celkem
Neprůsvitné konstrukce: svislé	2 860	2 860
Neprůsvitné konstrukce: vodorovné	3 950	3 950
Průsvitné konstrukce: severní	220	220
Průsvitné konstrukce: východní	119	119
Průsvitné konstrukce: jižní	265	265
Průsvitné konstrukce: západní	103	103
Celkem	7 517	7 517

Tab. 21 Přehled konstrukcí

Předpokládáme, že objekt školy je vystaven jako monolitický betonový skelet s výplňovým zdívem z cihel plných pálených. Budova je zastřešena sedlovou střechou s nevyužívaným podkrovím. Za nejnižší konstrukci je považována podlaha na zemině, za nejvyšší konstrukci je zvolena podlaha půdy. Výplně otvorů jsou původní dřevěná zdvojená okna, tyto výplně jsou v dezolátním technickém stavu.

Pro výpočet potřeby tepla byly použity průměrné hodnoty vnějších teplot za posledních sedm let z nejbližší meteorologické stanice tj. Velké Meziříčí. Městys Budišov se nachází v druhé teplotní oblasti s venkovní návrhovou teplotou $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, v krajině se zvýšeným zatížením větru dle ČSN 73 0540-3.

Budova školní jídelny a kuchyně byla postavena v pozdějším období, její projektová dokumentace nebyla rovněž k dispozici. Velikosti ploch a skladba obálky budovy byla stanovena přibližně z období výstavby a z fotografií.

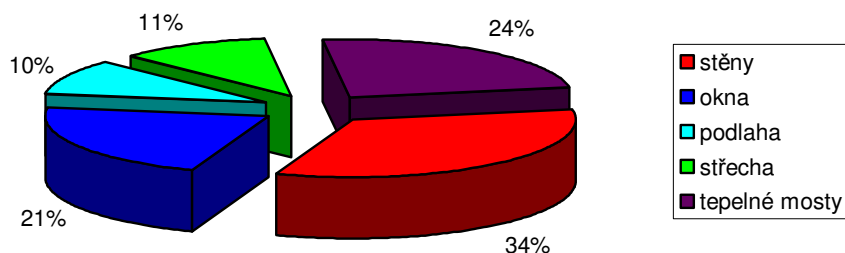
Přehled konstrukcí, jejich stavebně technické vlastnosti a porovnání s požadavky normy ČSN 73 0540-2 je uveden v tabulce 22.

Pro porovnání je uvedeno grafické znázornění podílu ztrát jednotlivými konstrukcemi obálky budovy ZŠ včetně vlivu tepelných mostů (viz. graf 14) podobně jako tomu bylo v kapitole 4 (kde byly uvedeny podíly ztrát jednotlivých konstrukcí pro budovu s požadovanými součiniteli prostupu tepla U_N).

Základní škola Budišov							
Tepelné ztráty prostupem						Splnění požadavků	
Konstrukce	U	A	A · U	b	H _T	U _{požad.}	Splněno
	[W/(m ² .K)]	[m ²]	[W/K]	-	[W/K]	[W/(m ² .K)]	
OP I před zateplením	1,16	1 900	2 195	1,00	2 195	0,38	NE
OP II nezateplováný	1,16	420	485	1,00	485	0,38	NE
OP III přilehlý k zemi	0,92	170	157	0,57	89	0,85	NE
OP IV jídelny	0,38	370	140	1,00	140	0,38	ANO
Podlaha ZŠ	0,89	1 600	1 421	0,57	810	0,85	NE
Střecha ZŠ	0,72	1 600	1 152	0,74	852	0,30	NE
Podlaha jídelny	0,35	375	131	0,57	75	0,45	ANO
Střecha jídelny	0,33	375	124	0,74	92	0,30	NE
VO I okno, dřevo, dvojsklo	2,40	593	1 423	1,15	1 637	1,70	NE
VO II dveře, dřevo, jednosklo	4,50	19	86	1,15	98	1,70	NE
VO III okno (dveře) plast	1,20	95	114	1,15	131	1,70	ANO
Celkem	1,09	8 004	8 559		8 705		

Tab. 22 Vlastnosti obálky budovy ZŠ

Podíl tepelných ztrát konstrukcemi budovy ZŠ



Graf 14 Podíl tepelných ztrát konstrukcemi

V modelu vytvořeném pro výpočet tepelných ztrát jsou zahrnuty tepelné ztráty prostupem tepla a větráním. Jsou zde zohledněny tepelné zisky charakteristické s ohledem na využívání objektu a další veličiny s odvoláním na normu ČSN EN ISO 13790. Porovnání modelu a potřeby tepla za poslední tři roky a potřeby dle faktur je v tabulce 23.

Srovnání POTŘEBY a SPOTŘEBY tepla				
	Celková potřeba tepla na vytápění - dle modelu [GJ] - Průměrný klimatický rok -		Celková spotřeba tepla na vytápění - dle faktur [GJ]	Odchylka
Rok	Zóna	Celkem		
2005	2 372	2 372	2 196	-8%
2006	2 391	2 391	2 289	-4%
2007	2 178	2 178	2 207	1%

Tab. 23 Porovnání potřeby a spotřeby

V posledním sloupci tabulky jsou uvedeny hodnoty odchylky vzniklé mezi skutečnou spotřebou tepelné energie a hodnotou vypočtenou pomocí modelu. K výsledkům je možné uvést následující komentář:

- model potřeby tepelné energie objektu odpovídá skutečným spotřebám;
- v roce 2005 dochází k největší odchylce 8 %; tato hodnota není významná, neboť nepřevyšuje hodnotu chyby 20 %, což je v souladu s normou ČSN EN ISO 13790 hodnota odchylky je proto přijatelná.

Přehled veškerých výpočtů týkajících se tepelných ztrát, tepelných zisků, stanovení zón a podzón, provozních dob objektu, navrhovaných opatření, jejich dopadů a jednotlivých úspor by přesahoval rámec této práce, proto jsou zde uvedeny pouze některé důležité výstupy výpočtu.

Následující podkapitoly budou členěny podle výše investice úsporných opatření, která byla popsána v kap. 4. U každého opatření bude vyjádřena úspora energetická a finanční s prostou dobou návratnosti investice. Celkové ekonomické zhodnocení navrhovaných změn bude uvedeno na konci této kapitoly.

8.2 Výpočet úspor a nákladů

Na základě vytvořeného modelu potřeby tepla, byla navržena úsporná opatření vedoucí ke snížení potřeby tepelné energie na vytápění. Pro stanovení jednotlivých úspor ke konkrétním opatřením byla zvolena jednotková cena energie 445,- Kč/GJ. Cena platí pro vytápění LTO (tj. pro současný stav). Popis úsporných opatření a výše jednotkových nákladů viz. kap. 4.

8.2.1 Instalace termostatických ventilů

Rozsah opatření

Opatření spočívá v instalaci termostatických ventilů na všechna otopná tělesa. Počet otopných těles byl zvolen odhadem.

Pro předmětné úsporné opatření jsou aplikovány následující hodnoty jednotlivých parametrů. V důsledku instalace TRV:

- se zvýšila hodnota využití vnitřních zisků na maximální úroveň stanovenou dle metodiky vyhlášky 148/2007 Sb.

Nová potřeba tepla

V důsledku provedeného úsporného opatření budou energetické a finanční bilance následující.

Stav realizace	Potřeba tepla	Náklady na teplo	Úspora tepla		Výsledná úspora	Hodnota pův. stavu
	[GJ/a]	[Kč/a]	[GJ/a]	[Kč/a]	[Kč]	[%]
Současný stav	2 301	1 023 860	---	---	---	100
TRV	2 068	920 461	232	103 399	103 399	90

Tab. 24 Náklady a úspory při instalaci TRV

Ekonomické údaje

Tabulka přehledně uvádí základní ekonomické a finanční údaje.

Počet radiátorů	Jedn. cena	Celkové náklady	Úspora za rok	Prostá návratnost
	Kč/ks	Kč	Kč/a	roky
70	1 785	124 950	103 399	1,2

Tab. 25 Ekonomie TRV

Analyzované úsporné opatření je možné z hlediska prosté návratnosti doporučit.

8.2.2 Tepelná izolace svislých vnějších konstrukcí

Rozsah opatření

Opatření zahrnuje zateplení fasády budovy ZŠ především 1. NP a 2. NP v tl. 100 mm.

Pro předmětné úsporné opatření jsou aplikovány následující hodnoty jednotlivých parametrů. V důsledku zateplení fasády:

- byla snížena hodnota vlivu tepelných mostů na celkové ztráty prostupem;
 - zlepšily se tepelně technické vlastnosti tak, že svislá obvodová konstrukce splňuje požadovanou hodnotu součinitele prostupu tepla danou normou ČSN 73 0540-2 (2007), a to $U \leq 0,38 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$. Požadovaná hodnota je dosažena instalací tohoto tepelně izolačního materiálu:
- EPS-F 70 tepelná vodivost $\lambda = 0,038 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ $d = 100 \text{ mm}$;
 - nová hodnota součinitele prostupu tepla OP I $U = 0,28 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$.

Nová potřeba tepla

V důsledku provedeného úsporného opatření budou energetické a finanční bilance následující.

Stav realizace	Potřeba tepla	Náklady na teplo	Úspora tepla		Výsledná úspora	Hodnota pův. stavu
	[GJ/a]	[Kč/a]	[GJ/a]	[Kč/a]	[Kč]	[%]
Současný stav	2 301	1 023 860	---	---	---	100
Zateplení fasády	1 792	797 556	509	226 303	226 303	78

Tab. 26 Náklady a úspora při zateplení

Ekonomické údaje

Tabulka přehledně uvádí základní ekonomické a finanční údaje.

Plocha fasády	Jedn. cena	Celkové náklady	Úspora za rok	Prostá návratnost
	Kč/m ²	Kč	Kč/a	roky
1 900	1 904	3 617 600	226 303	16,0

Tab. 27 Ekonomie zateplení obvodového pláště

Analyzované úsporné opatření je možné z hlediska prosté návratnosti doporučit.

8.2.3 Výměna výplní stavebních otvorů

Rozsah opatření

Opatření spočívá v instalaci nových moderních oken s nízkou spárovou průvzdušností a s nízkou hodnotou měrného prostupu tepla do všech stavebních otvorů, kde jsou původní výplně.

Podmínky výpočtu

Výpočet předpokládané potřeby tepelné energie a dalších parametrů úsporného opatření bude proveden za těchto podmínek a předpokladů:

- na objektu nebylo dosud provedeno jiné zlepšení jeho tepelně izolačních vlastností;
- v důsledku výměny oken se snížila hodnota intenzity výměny vzduchu ve všech zónách;
- zlepšily se tepelně technické vlastnosti tak, že výplně otvorů splňují doporučenou hodnotu součinitele prostupu tepla danou normou ČSN 73 0540-2 (2007), a to $U \leq 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Požadovaná hodnota je dosažena instalací tohoto tepelně izolačního materiálu:

plastový (dřevěný) izolační rám $U \leq 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Nová potřeba tepla

V důsledku provedeného úsporného opatření budou energetické a finanční bilance následující.

Stav realizace	Potřeba tepla	Náklady na teplo	Úspora tepla		Výsledná úspora	Hodnota pův. stavu
	[GJ/a]	[Kč/a]	[GJ/a]	[Kč/a]	[Kč]	[%]
Současný stav	2 301	1 023 860	---	---	---	100
Výměna oken	1 973	877 790	328	146 070	146 070	86

Tab. 28 Náklady a úspory při výměně oken

Ekonomické údaje

Tabulka přehledně uvádí základní ekonomické a finanční údaje.

Plocha oken	Jedn. cena	Celkové náklady	Úspora za rok	Prostá návratnost
	Kč/m ²	Kč	Kč/a	roky
612	4 522	2 767 464	146 070	18,9

Tab. 29 Ekonomie výměny oken

Analyzované úsporné opatření je možné z hlediska prosté návratnosti doporučit.

8.3 Ekonomické zhodnocení úsporných opatření

V této podkapitole budou hodnocena úsporná opatření z předcházejících podkapitol.

Vstupy ekonomického hodnocení

- investiční náklady:

instalace TRV	124 950,- Kč;
zateplení fasády	3 617 600,- Kč;
výměna oken	2 767 464,- Kč;
celkem N_i	6 510 014,- Kč.

- roční úspory:

instalace TRV	103 399,- Kč;
zateplení fasády	226 303,- Kč;
výměna oken	146 070,- Kč;
celkem CF	475 772,- Kč.

- diskontní sazba: $d = 2,5 \%$
- doba hodnocení projektu $T_i = 30$ let

Výpočet ekonomického zhodnocení je stejný jako v podkapitole 7.1 proto zde budou uvedeny pouze výstupy výpočtu diskontovaného toku peněz DFC (viz. tab. 30 a graf 12).

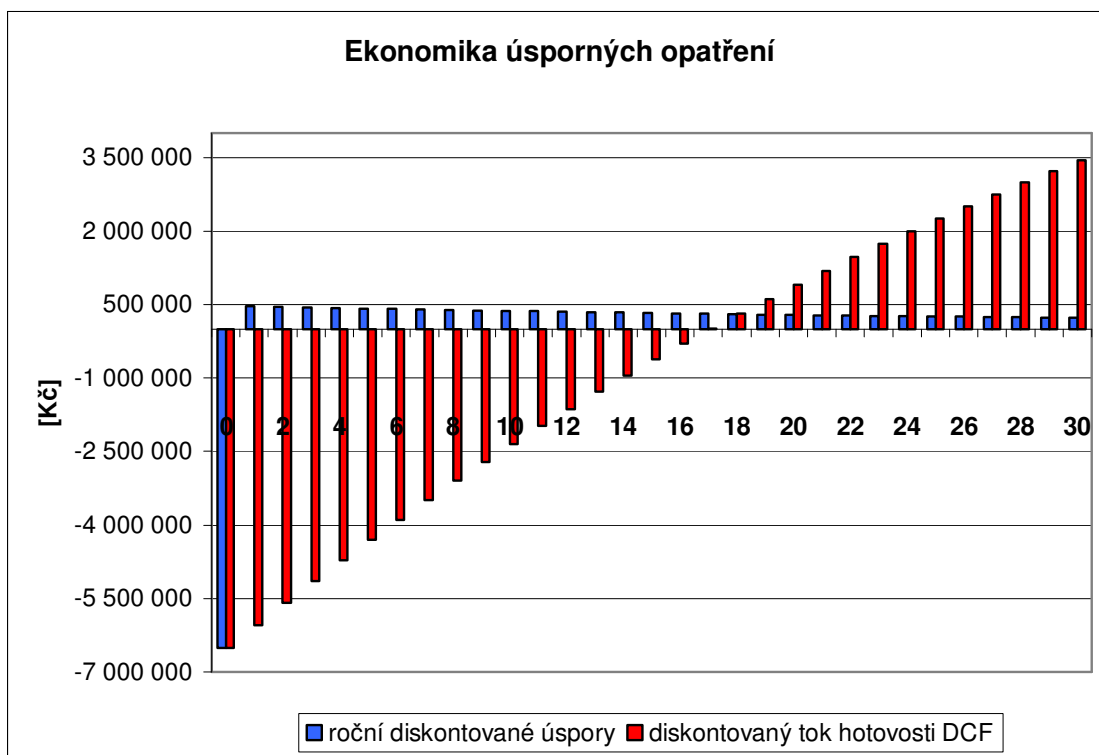
Ekonomické zhodnocení úsporných opatření							
Tj [rok]	CF [tis. Kč]	CF (1+d)-j [tis. Kč]	DCF [tis. Kč]	Tj [rok]	CF [tis. Kč]	CF (1+d)-j [tis. Kč]	DCF [tis. Kč]
0	-6 510,0	-6 510,0	-6 510,0	-	-	-	-
1	475,8	464,2	-6 045,8	16	475,8	320,5	-298,8
2	475,8	452,8	-5 593,0	17	475,8	312,7	13,9
3	475,8	441,8	-5 151,2	18	475,8	305,0	318,9
4	475,8	431,0	-4 720,2	19	475,8	297,6	616,5
5	475,8	420,5	-4 299,7	20	475,8	290,4	906,9
6	475,8	410,3	-3 889,4	21	475,8	283,3	1 190,1
7	475,8	400,3	-3 489,1	22	475,8	276,4	1 466,5
8	475,8	390,5	-3 098,7	23	475,8	269,6	1 736,1
9	475,8	381,0	-2 717,7	24	475,8	263,0	1 999,2
10	475,8	371,7	-2 346,0	25	475,8	256,6	2 255,8
11	475,8	362,6	-1 983,4	26	475,8	250,4	2 506,2
12	475,8	353,8	-1 629,7	27	475,8	244,3	2 750,4
13	475,8	345,1	-1 284,5	28	475,8	238,3	2 988,7
14	475,8	336,7	-947,8	29	475,8	232,5	3 221,2
15	475,8	328,5	-619,3	30	475,8	226,8	3 448,0

Tab. 30 Diskontovaný tok peněz DFC, tok peněz CF a tok peněz s uvažováním znehodnocování financí úsporných opatření

Doba návratnosti

- prostá doba návratnosti:

$$T_0 = \frac{N_i}{CF} = \frac{6\,510\,014}{475\,772} = \underline{\underline{13,7 \text{ roku}}} \quad (8.3-1)$$



Graf 12 Průběh diskontovaných ročních úspor a diskontovaného toku DCF úsporných opatření

- doba návratnosti s uvažováním znehodnocování hotovosti:

$$T_s = \frac{\ln \frac{1}{1 - T_0 \cdot d}}{\ln(1 + d)} = \frac{\ln \frac{1}{1 - 13,7 \cdot 0,025}}{\ln(1 + 0,025)} = \underline{\underline{17 \text{ roků}}} \quad (8.3-2)$$

Vnitřní výnosové procento (IRR)

- výpočet je proveden iterační metodou:

$$N_i - \sum CF(1 + d)^{-j} = 0 \quad (8.3-3)$$

$$r_i = 1 + u_i \quad \text{zvoleno} \quad u_i = 0,04 \quad (8.3-4)$$

$$u_i = \frac{CF}{N_i} \cdot \frac{r_i^T - 1}{r_i^T} = \frac{475\,772}{6\,510\,014} \cdot \frac{1,04^{30} - 1}{1,04^{30}} = 0,051 \Rightarrow \underline{\underline{6 \%}} \quad (8.3-5)$$

Doba návratnosti s uvažováním znehodnocování peněz je kratší než doba životnosti projektu, proto lze analyzovaná úsporná opatření jako celek doporučit.

9. ZHODNOCENÍ A ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo optimalizovat způsob vytápění ZŠ Budišov. V úvodu je stručný popis nepoužívanějších druhů paliv a kotlů pro vytápěcí soustavy budov veřejného využití. Tato část je rovněž doplněna informacemi o dalších možnostech snížení energetické náročnosti budov.

V praktické části je řešeno šest různých variant náhrady stávajícího systému vytápění ZŠ. Jako ekonomicky nejvýhodnější byly dále zhodnoceny tři varianty. A to varianta č. 1, kdy se jednalo o náhradu jednoho hořáku na LTO za hořák na ZP, varianta č. 3, která počítala s investicí do kotle na dřevo případně dřevní štěpku. Jako poslední hodnocená je varianta č. 5, která předpokládá výměnu obou hořáků na LTO za hořáky na ZP. Z ekonomického hodnocení variant vyplývá jednoznačně nejvyšší úspora při použití kotle na dřevní štěpku, tj. varianta č. 3. Ovšem investiční náklady na vybudování skladu, přípravu paliva a také zásobování takové kotelny, sebou přinášejí řadu, nejen finančních, problémů jak bylo uvedeno v kap. 7.2.

Jako jednoznačně nejvýhodnější se jeví varianty č. 1 a 5. Varianta č. 5 je sice nákladnější investicí, ale co se týká návratnosti a zhodnocení peněz je velmi dobrá. Výhodou tohoto způsobu řešení je především technická stránka, protože odpadne potřeba skladu a zásobování palivem jako tomu bylo doposud při využívání LTO. Tato varianta je také výhodná i z ekologické stránky, protože zemní plyn, je jako palivo šetrné k životnímu prostředí a nebude tedy zatíženo tzv. "zelenou" daní.

Závěr praktické části práce je věnován zlepšení tepelně technických vlastností obálky budovy ZŠ. Jedná se o opatření vedoucí ke snížení energetické náročnosti budovy. Zateplení fasády, výměna oken a instalace termostatických ventilů na otopná tělesa jsou stěžejními body v úspoře energie. Úsporným opatřením zde byla věnována pozornost z důvodu jejich možné realizace ze strany vlastníků školy. Jednotlivá opatření byla řešena především po ekonomické stránce, ze které vyplývá jejich jednoznačný ekonomický přínos. Vložené investice se vrátí v době životnosti provedených úprav.

Z předchozích údajů jasně vyplývá, že změna palivové základny v objektu ZŠ je vhodná a výhodná. Volba, pro kterou bych se rozhodl je varianta č. 5. Která se jeví jako nejsnazší cesta, hlavně co se týče vložených investic, realizace a především možnosti plně automatického a snadno regulovatelného provozu kotelny. K celkové realizaci bych doporučil i stavební úpravy, především zateplení obvodového pláště, výměnu oken a instalaci termostatických ventilů na otopná tělesa. Tyto investice mají sice delší dobu návratnosti, ale vyplatí se z důvodu neustálého zvyšování ceny paliv.

Celkový přehled nákladů a úspor z realizace varianty č. 5 a úsporných opatření, porovnaných se současným stavem tj. při vytápění pomocí LTO zobrazují tabulky 31 a 32 a graf 13.

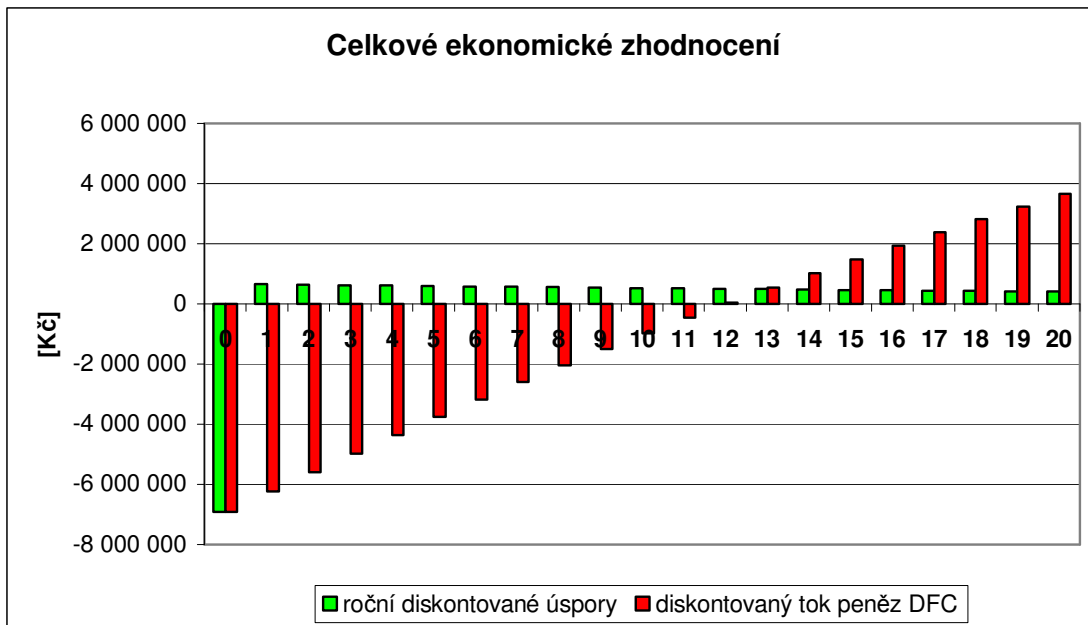
Celkový přehled nákladů a úspor							
Stav realizace	Potřeba energií	Jednotková cena	Náklady na energii	Výsledná úspora		Náklady na realizaci	Prostá návratnost
	[GJ/rok]	[Kč/GJ]	[Kč/rok]	[GJ]	[Kč/rok]	[Kč]	rok
Současný stav	2 301	445	1 023 860	-	-	-	-
Varianta č. 5	2 301	357	821 457	-	202 403	400 000	2,0
TRV	2 068	445	920 461	232	103 399	124 950	1,2
Zateplení fasády	1 792	445	797 556	509	226 303	3 617 600	16,0
Výměna oken	1 973	445	877 790	328	146 070	2 767 464	18,9
Celkem				1 069	678 175	6 910 014	10,2

Tab. 31 Celkový ekonomický přehled navrhovaného opatření

Celkové ekonomické zhodnocení							
T_j [rok]	CF [Kč]	$CF(1+d)^{-j}$ [Kč]	DCF [Kč]	T_j [rok]	CF [Kč]	$CF(1+d)^{-j}$ [Kč]	DCF [Kč]
0	-6 910 014	-6 910 014	-6 910 014	-	-	-	-
1	678 175	661 634	-6 248 380	11	678 175	516 868	-457 715
2	678 175	645 497	-5 602 883	12	678 175	504 261	46 546
3	678 175	629 753	-4 973 130	13	678 175	491 962	538 508
4	678 175	614 393	-4 358 737	14	678 175	479 963	1 018 471
5	678 175	599 408	-3 759 329	15	678 175	468 257	1 486 728
6	678 175	584 788	-3 174 541	16	678 175	456 836	1 943 563
7	678 175	570 525	-2 604 016	17	678 175	445 693	2 389 257
8	678 175	556 610	-2 047 406	18	678 175	434 823	2 824 079
9	678 175	543 034	-1 504 372	19	678 175	424 217	3 248 297
10	678 175	529 789	-974 582	20	678 175	413 871	3 662 167

Tab. 32 Diskontovaný tok peněz DFC, tok peněz CF a tok peněz s uvažováním znehodnocování financí varianty č. 5 a úsporných opatření

Na úsporná opatření lze získat dotace z operačního programu Životní prostředí platného na období let 2007 až 2013. Tento operační program je zaměřen na udržitelné využívání zdrojů a energie, realizaci úspor energie a využití odpadního tepla a realizaci úspor energie. Dotační program je určen pro města a obce na zateplení veřejných budov vč. výměny oken a dveří. Pro projekt v rámci úspor energie je nezbytně nutné nechat zpracovat energetický audit. Povinnost zpracovat energetický audit je dána zákonem č. 406/2000 Sb., o hospodaření energií. Tento zákon platí pro objekty jejíž roční spotřeba všech vstupujících energií je vyšší jak 1500 GJ/rok. Celková výše dotace může být až 90 %.



Graf 13 Průběh diskontovaných ročních úspor a diskontovaného toku DCF varianty č. 5 a úsporných opatření

Doba návratnosti

- prostá doba návratnosti:

$$T_0 = \frac{N_i}{CF} = \frac{6\,910\,014}{678\,175} = \underline{\underline{10,2 \text{ roku}}} \quad (9-1)$$

- doba návratnosti s uvažováním znehodnocování hotovosti:

$$T_s = \frac{\ln \frac{1}{1 - T_0 \cdot d}}{\ln(1 + d)} = \frac{\ln \frac{1}{1 - 10,2 \cdot 0,025}}{\ln(1 + 0,025)} = \underline{\underline{12 \text{ roku}}} \quad (9-2)$$

Vnitřní výnosové procento (IRR)

- výpočet je proveden iterační metodou:

$$r_i = 1 + u_i \quad \text{zvoleno} \quad u_i = 0,07 \quad (9-3)$$

$$u_i = \frac{CF}{N_i} \cdot \frac{r_i^T - 1}{r_i^T} = \frac{678\,175}{6\,910\,014} \cdot \frac{1,07^{20} - 1}{1,07^{20}} = 0,073 \Rightarrow \underline{\underline{8 \%}} \quad (9-4)$$

V současné době je již v provozu nová kotelná. Došlo k náhradě hořáků u obou kotlů a vytápění je zajištěno výhradně zemním plynem. Investiční náklady byly cca 700 tis. Kč, z důvodu budování plynovodu nejen ke kotelně, ale i k bytu školníka, čímž došlo k nárůstu investice. V této částce je rovněž zahrnuta cena za instalaci termostatických ventilů v celém objektu ZŠ.

10. SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] KRBEK, J., OCHRANA, L., POLESNÝ, B.: *Průmyslová energetika*. 1. vydání Brno: PC-DIR spol. s.r.o. Brno, 1996. 198 s. ISBN 80-214-0831-6.
- [2] OCHRANA, L.: *Spalovací zařízení a výměníky tepla*. 1. vydání Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1993, ISBN 80-214-0529-5.
- [3] POČINKOVÁ, M., TREUOVÁ, L., *Vytápění*. 1. vydání Brno: ERA group spol. s.r.o. Brno, 2002. 132 s. ISBN 80-86517-35-7.
- [4] KRBEK, J., POLESNÝ, B., FIEDLER, J.: *Strojní zařízení tepelných centrál-Návrh a výpočet*, 1. vydání Brno: PC-DIR Real, s.r.o. Brno, 1999. 214 s. ISBN 80-214-1334-4.
- [5] SRDEČNÝ, K., MACHOLDA, F., *Úspory energie v domě*. 1. vydání Praha: Grada Publishing, a.s. Praha, 2004, 100 s. ISBN 80-247-0523-0.
- [6] CENKA, M. A KOL.: *Obnovitelné zdroje energie*. 2. vydání Praha: FCC Public, 2001. 208 s. ISBN 80-901985-8-9.
- [7] Firemní materiály a výpočtový program pro stanovení tepelných ztrát budov společnosti *DEA energetická agentura* spol. s.r.o. Brno.
- [8] VALENTA V. a kolektiv, *Topenářská příručka 3*. 1. vydání Praha: Agentura ČSTZ, s.r.o., Praha 2007. 378 s. ISBN 978-80-86028-13-2.

www stránky

- [9] www.tzb-info.cz
- [10] www.czso.cz
- [11] www.petroleum.cz
- [12] www.viessmann.cz
- [13] www.thermona.cz
- [14] www.buderus.cz
- [15] www.geologie.vsb.cz
- [16] www.kotle.cz
- [17] www.amc-servis.cz
- [18] www.verner.cz
- [19] www.schietl.cz
- [20] www.imaterialy.cz
- [21] www.rwe.cz

11. SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Význam	Jednotka
A	Plocha	m^2
b	Činitel teplotní redukce	-
$C_{dř}$	Cena dřeva	Kč
$C_{dř.ště}$	Cena dřevní štěpky	Kč
CF	Skutečný tok peněz Cash-Flow	Kč
d	Diskontní sazba	%
DCF	Diskontovaný tok peněz	Kč
EPS	Expandovaný polystyren	-
H_T	Tepelná ztráta	W/K
$M_{dř.ště}$	Množství dřevní štěpky	kg
N	Náklady	Kč
$N_{dř.}$	Náklady na dřevo	Kč
$N_{dř.ště}$	Náklady na dřevní štěpku	Kč
N_i	Investiční náklady	Kč
N_{LTO}	Náklady na LTO	Kč
N_{ZP}	Náklady na ZP	Kč
Q	Teplo	MJ, GJ
Q_i^S	Spalné teplo	MJ/kg
Q_i^r	Výhřevnost	MJ/kg
Q_{ZP}	Energie ZP	MWh
r_i	Odúročitel	-
T_i	Doba životnosti	rok
T_o	Prostá doba návratnosti	rok
T_s	Skutečná doba návratnosti	rok
U	Úspory	Kč
$U_{dř.}$	Úspory dřeva	Kč
$U_{dř.ště}$	Úspory dřevní štěpky	Kč
u_i	Vnitřní výnosové procento	%
U_N	Součinitel prostupu tepla	W/m^2K
$U_{požad.}$	Požadovaný součinitel prostupu tepla	W/m^2K
V	Objem	m^3
$V_{dř.}$	Objem dřeva	rm
$V_{dř.ště}$	Objem dřevní štěpky	prms
V_{ZP}	Objem ZP	m^3
ρ	Hustota	kg/m^3